

Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum agriculturalarum (Dr. rer. agr.)

Zwischen Niedermoor und Boden: Pedogenetische Untersuchungen und Klassifikation von mitteleuropäischen Mudden

eingereicht an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät
von

Diplom-Geografin Jana Chmielewski
geboren am 03.05.1972 in Berlin

Dekan der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät

Prof. Dr. Otto Kaufmann

Gutachter/Gutachterinnen:

Prof. Dr. Jutta Zeitz

Prof. Dr. Piotr Ilnicki

Prof. Dr. Michael Succow

Datum der mündlichen Prüfung: 12.07.2006

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	2
1.1 Forschungsgegenstand.....	2
1.2 Zielstellung.....	3
2 Stand der Wissenschaft.....	4
2.1 Entstehungsbedingungen und Zusammensetzung von Mudden.....	4
2.2 Bodenbildung, bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden.....	8
2.3 Klassifikationen als Grundlage der bodenkundlichen Geländeaufnahmen.....	14
2.3.1 Substrate.....	14
2.3.2 Subhydrische Böden und Böden aus Mudde.....	18
2.3.3 Böden aus Mudde.....	18
3 Untersuchungsflächen, Material und Methoden.....	20
3.1 Untersuchungsflächen.....	21
3.2 Bodenprofile, Bohrungen, Probenentnahme.....	30
3.3 Pollenanalyse.....	32
3.4 Laboranalytik chemischer Elemente und Verbindungen.....	32
3.5 Bestimmung von physikalischen Bodenkennwerten.....	33
3.6 Computertomographie.....	34
3.7 Statistische Auswertung, statistische Strukturanalyse: Hauptkomponentenanalyse.....	35
3.8 Hintergrundwerte und -gehalte.....	37
4 Organoleptische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden: Befunde der Geländeaufnahmen.....	38
4.1 Prinzipien der Muddemoorbildung.....	38
4.2 Organoleptische Eigenschaften der verschiedenen Muddearten.....	43
4.2.1 Organische Mudden.....	43
4.2.1.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz.....	43
4.2.1.2 Organische Substanz und pH-Werte.....	44
4.2.1.3 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung	46
4.2.2 Kalkhaltige Mudden und Kalkmudden.....	60
4.2.2.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz.....	60
4.2.2.2 Organische Substanz und pH-Werte.....	61
4.2.2.3 Kalziumkarbonatgehalte und -arten.....	61
4.2.2.4 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung.....	63
4.2.3 Diatomeenmudden.....	74
4.2.3.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz.....	74
4.2.3.2 Organische Substanz und pH-Werte.....	75
4.2.3.3 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung.....	75
5 Chemische Eigenschaften von Mudden.....	83
5.1 Qualitative und quantitative Untersuchungen zu den Hauptbestandteilen der Substrate.....	83
5.1.1 Ausgewählte Hauptelemente.....	83
5.1.2 Schwermetalle.....	86
5.1.3 Kationenaustauschkapazität.....	88
5.2 Substrat-, horizont- und flächenspezifische Elementgehalte und charakteristische Parameterkorrelationen	89

5.2.1 Substratbezogene Analyse der Hauptkomponenten.....	89
5.2.2 Horizontbezogene Darstellung der Hauptkomponenten für Kalkmudde.....	95
6 Physikalische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden.....	97
6.1 Reindichte und Trockenrohndichte.....	97
6.2 Wasserspannungskurven verschiedener Muddearten.....	99
6.3 Veränderung der Porenverteilung durch Entwässerung.....	104
6.4 Kennwerte des Bodenwasserhaushalts.....	108
6.5 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (Geländebohrlochmethode).....	109
7 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	109
7.1 Identifikation von Muddearten anhand morphologischer Kriterien.....	109
7.2 Pedogenetische Veränderungen von entwässerten Mudden - Entstehung von Bodenhorizonten.....	110
7.3 Charakterisierung von Muddearten anhand von chemischen Parametern.....	111
7.4 Charakteristische physikalische Eigenschaften und deren Veränderung bei Entwässerung und Pedogenese.....	112
8 Schlussfolgerungen.....	113
8.1 Vorschläge zur Klassifikation von Muddesubstraten und -böden.....	113
8.1.1 Substratklassifikation.....	113
8.1.2 Abgrenzung gegenüber genetisch verwandten Substraten bzw. Böden.....	118
8.1.2.1 Torf.....	118
8.1.2.2 Quellsedimente.....	119
8.1.2.3 Wiesenkalk.....	119
8.1.3 Bodenklassifikation.....	120
8.1.3.1 Horizontausprägungen.....	120
8.1.3.2 Einordnung in die Bodensystematik.....	122
8.2 Hintergrundwerte.....	124
9 Zusammenfassung.....	124
10 Literatur.....	127

Tabellen

Tabelle 1: Faktoren für die Ausprägung unterschiedlicher Muddearten	4
Tabelle 2: Seetypen und deren Sedimente	4
Tabelle 3: Hydrologische Grundformen von Seen (aus Succow et al., 2001).....	5
Tabelle 4: Munsell-Farben von Eisenmineralen und Huminstoffen (Median und Bereich).....	8
Tabelle 5: Zusammensetzung von Detritus- und Leber-, Kalk- und Tonmudden (nach Schmidt 1992a, b).....	11
Tabelle 6: Klassifikation der Muddearten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005).....	17
Tabelle 7: Untersuchungsgebiete.....	20
Tabelle 8: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Dümmer	22
Tabelle 9: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Dobbiner und Klädener Plage	23
Tabelle 10: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Jagow.....	24
Tabelle 11: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Klieken.....	25
Tabelle 12: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Mildnitz	25
Tabelle 13: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Rhinluch.....	27
Tabelle 14: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Weißensee.....	28
Tabelle 15: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Siebleben.....	28
Tabelle 16: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Zehlendorfer Moor.....	29
Tabelle 17: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Ziethener Seebruch....	30
Tabelle 18: Aufnahmeparameter am Bodenprofil.....	31
Tabelle 19: Chemische Analysemethoden für die feste Bodensubstanz.....	33
Tabelle 20: Physikalische Messmethodik.....	33
Tabelle 21: Ergebnisse der Pollenanalyse für die Untersuchungsfläche ZIETH.....	42
Tabelle 22: Taxa der Sumpf- und Wasservegetation im Pollenprofil ZIETH	43
Tabelle 23: Arten der Sumpf- und Wasservegetation im Pollenprofil Teufelssee	43
Tabelle 24: Tiefenbezogene Abnahme der Glühverluste in Detritusmudden.....	45
Tabelle 25: Bodenprofil der Untersuchungsfläche ZIETH.....	47
Tabelle 26: Anteil der Korngrößen in Masse-% an der mineralischen Fraktion.....	60
Tabelle 27: Probenanzahl nach Kalkgehalts-Klassen.....	61
Tabelle 28: Flächenbezogene Kalkgehalte.....	63
Tabelle 29: Korngrößenverteilung der Diatomeenmudden der Untersuchungsflächen DM und KLIEK.....	74
Tabelle 30: Horizontbezogene Mittelwerte von pH-Wert, Karbonatgehalt und Glühverlust.....	75
Tabelle 31: Flächenbezogene gemittelte Werte der Hauptelemente	83
Tabelle 32: Korrelationskoeffizienten nach Pearson klassifiziert nach Untersuchungsflächen.....	84
Tabelle 33: Korrelationskoeffizienten nach Pearson für verschiedene Kalkgehalte	85
Tabelle 34: Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Schwermetalle zu pH-Wert, Glühverlust und Eisen- und Aluminiumoxiden	86
Tabelle 35: Flächen- und horizontbezogene Mittelwerte von ausgewählten Schwermetallen	87
Tabelle 36: Kationenbelegung und potenzielle Kationenaustauschkapazität von Detritus-, Diatomeen- und Kalkmudde.....	88
Tabelle 37: Korrelation nach Pearson für Haupt- und ausgewählte Spurenelemente.....	90
Tabelle 38: Mittels Hauptkomponentenanalyse ermittelte Komponenten.....	91
Tabelle 39: Absolute Anzahl von positiven Faktorwerten.....	93
Tabelle 40: Experimentell und rechnerisch ermittelte Reindichten von Kalk- und Detritusmudden.....	97

Tabelle 41: Vertikale Verteilung der Trockenrohdichten in verschiedenen Muddearten	98
Tabelle 42: Kennwerte des Bodenwasserhaushalts für verschiedene Muddearten.....	99
Tabelle 43: Wasservolumen bei verschiedenen Saugspannungen in Detritusmudden	100
Tabelle 44: Anteil der Korngrößen in Masse-% an der mineralischen Fraktion.....	102
Tabelle 45: Horizontbezogenes Gesamtporenvolumen und Glühverlust von Detritusmudden	104
Tabelle 46: Gesättigte Leitfähigkeit, Bohrlochmethode DIN 19682.....	109
Tabelle 47: Diagnostische Merkmale von Muddeböden.....	110
Tabelle 48: Flächenbezogene Glühverluste.....	111
Tabelle 49: Mittlere pH-Werte der Muddarten.....	111
Tabelle 50: Kalkmuddearten anhand morphologischer und genetischer Kriterien	116
Tabelle 51: Substratklassifikation der Organomudden.....	117
Tabelle 52: Organomuddearten anhand morphologischer und genetischer Kriterien	117

Abbildungen

Abbildung 1: Schrumpfungsdynamik in Gytjaböden.....	12
Abbildung 2: Gliederungsschema für Mudden nach Menke (1989).....	17
Abbildung 3: Lage der Untersuchungsgebiete	20
Abbildung 4: Dreidimensionale und zweidimensionale Visualisierung des Gefüges in Detritusmudde.....	35
Abbildung 5: A: Graphische Darstellung eines standardisierten Datensatzes	36
Abbildung 6: Screeplot.....	37
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Entstehung eines Muddemoores durch Degradation der Decktorfschichten.....	39
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Entstehung eines Muddemoores durch Seeablassung.....	39
Abbildung 9: Karte der Moormächtigkeit der Untersuchungsfläche ZIETH	41
Abbildung 10: Relative Häufigkeit von Klassen des Glühverlustes.....	44
Abbildung 11: Aus dem pedogenetisch veränderten Horizont aus Detritusmudde herauspräparierte Gefügekörper (Untersuchungsfläche ZIETH).....	47
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Horizonte in Böden aus Detritusmudden.....	48
Abbildung 13: Detritusmudde der Untersuchungsfläche MILD, Tiefe: 24 – 36 cm	50
Abbildung 14: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 0 – 15 cm.....	51
Abbildung 15: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 15 – 20 cm.....	52
Abbildung 16: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 25 – 30 cm.....	53
Abbildung 17: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 25 – 30 cm.....	54
Abbildung 18: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 60 cm.....	55
Abbildung 19: Detritusmudde der Untersuchungsfläche MILD, Tiefe: 35 – 75 cm	56
Abbildung 20: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 0 – 43 cm.....	57
Abbildung 21: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH.....	58
Abbildung 22: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH.....	59
Abbildung 23: Schematische Darstellung der Horizonte in Böden aus Kalkmudden.....	64
Abbildung 24: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN, Tiefe: 60 – 70 cm	66
Abbildung 25: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN, Tiefe 25 – 40 cm.....	67
Abbildung 26: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN.....	68
Abbildung 27: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche ZEH.....	69
Abbildung 28: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche JAG, Tiefe: 0 – 50 cm.....	70

Abbildung 29: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche ZEH, Tiefe: 16 – 30 cm.....	71
Abbildung 30: Kalkmudden mit hohem Schluff- und Tongehalt der Untersuchungsfläche WEISS	72
Abbildung 31: Kalkmudden mit hohem Schluff- und Tongehalt, Untersuchungsfläche WEISS.....	73
Abbildung 32: Diatomeenmudden der Untersuchungsfläche DM.....	76
Abbildung 33: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM.....	77
Abbildung 34: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche KLIEK.....	78
Abbildung 35: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche KLIEK.....	79
Abbildung 36: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM.....	80
Abbildung 37: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM.....	81
Abbildung 38: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM.....	82
Abbildung 39: Anteil der Hauptelemente (Oxidgehalte) in Detritus-, Diatomeen- und Kalkmudden.....	84
Abbildung 40: Faktorladungen der ersten und zweiten Hauptkomponente.....	92
Abbildung 41: Faktorladungen der dritten und vierten Hauptkomponente.....	92
Abbildung 42: Faktorwert-Hauptkomponentenmatrix für Substratarten	94
Abbildung 43: Faktorwert-Hauptkomponentenmatrix für Horizonte aus Kalkmudde.....	96
Abbildung 44: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Reindichte.....	97
Abbildung 45: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Trockenrohdichte.....	98
Abbildung 46: Gemittelte pF-Kurven verschiedener Muddearten	101
Abbildung 47: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Einheitswasserzahl nach Ohde für Kalk-, Diatomeen- und Detritusmudden.....	102
Abbildung 48: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Einheitswasserzahl nach Ohde für Detritus- und Kalkmudden.....	103
Abbildung 49: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (ZIETH).....	105
Abbildung 50: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (MILD).....	105
Abbildung 51: Horizontbezogene pF-Kurven von Kalkmudden (JAG).....	106
Abbildung 52: Horizontbezogene pF-Kurven von Kalkmudden (RHIN).....	106
Abbildung 53: pF-Kurven von Detritusmudden (Lebermudden).....	107
Abbildung 54: Horizontbezogene pF-Kurven von Kalkmudden (DOBB).....	107
Abbildung 55: Vorschlag zur Gliederung der Muddesubstrate.....	114

1 Einführung

1.1 Forschungsgegenstand

Mudde ist der Oberbegriff für in stehenden Gewässern abgelagerte Sedimente. Sie unterscheiden sich von anderen Sedimenten durch ihren Gehalt an primär aus aquatischen Organismen entstandener organischer und mineralischer Substanz. Zugleich bezeichnet Mudde die am Grunde rezenter Gewässer sedimentierten Substrate subhydrischer Böden und, an der Oberfläche vorkommend, Substrate mit sekundärer Pedogenese unter atmosphärischen Bedingungen, als reliktsche oder fossile Mudden.

In der Deutschen Bodenkundlichen Systematik wird Mudde als Synonym für limnische Sedimente mit einem Anteil an organischer Substanz von mehr als 5 Masse-% nach einem Vorschlag von Merkt et al. (1971) verwendet. Zusätzlich zu diesem Sedimentbegriff gibt es Bezeichnungen, die aus anderen Sprachen übernommen oder regionalen Ursprungs und aus weiteren stofflichen Ausdifferenzierungen herrühren.

Das niederdeutsche Wort "Mudde" wurde von C.A. Weber (1907) in die wissenschaftliche Literatur eingeführt; zunächst für alle Süßwassersedimente, später nur für die Süßwassersedimente, die einen deutlich sichtbaren Anteil an organischer Substanz enthielten.

Aus dem Schwedischen wurden die Namen Gytta und Dy übernommen und finden u.a. bei Grosse-Brauckmann (1961) Verwendung. Für die in Niedersachsen am Dümmersee vorkommende Mudde mit einem hohen Anteil an Diatomeen ist der regionale Begriff Meergeil bekannt. Zur Unterteilung von Diatomeenmudden mit einem hohen Gehalt an Diatomeen wurde der Begriff Gur verwendet.

Sapropel und Saprokoll sind von Potonié (1908) eingeführte Bezeichnungen für die Unterscheidung von unkonsolidierten und konsolidierten Mudden, die in diesem Sinne heute nicht mehr verwendet werden. Der Begriff Sapropel wird in der aktuellen Literatur nicht nur auf limnische Ablagerungen beschränkt angewandt. Er wird auch für marine Sedimente, wie z.B. Diatomeensedimente (*diatomaceous sapropels*) verwendet (Kemp, 1999). Diese als Sapropel bezeichneten Sedimente sind für marine Sedimente zwar vergleichsweise reich an organischer Substanz, der Anteil an organischer Substanz übersteigt allerdings in keinem Fall 10 Masse-% (ebenda). Kalziumkarbonathaltige Ablagerungen im Liegenden der Torfe von Mooren werden insbesondere in der älteren Literatur als Wiesenalk und manchmal als Kalkgyttia angesprochen (Passarge, 1901).

Massenhaftes Auftreten der Schalenreste von Schnecken und Muscheln, Kalkinkrustierungen verschiedener Algen, wie z.B. Characeenröhrchen sowie biogener silikatischer Komponenten aus Diatomeenschalen lassen eine eindeutige Identifizierung als Mudde zu. Wie schon in den verschiedenen Namen und ihrer Herkunft angedeutet, unterscheiden sich Mudden auf Grund des jeweiligen Mengenanteiles der organischen und mineralischen Bestandteile und des Kalziumkarbonats sowie nach der Textur und dem Gehalt an Diatomeen. Das weite Farbspektrum reicht von reinweiß bis tiefschwarz, über beige, rötlich, gelblich, olivgrün bis hin zu blau.

Die Konsistenz lässt sich in Abhängigkeit vom Wassergehalt bei feldfrischem Zustand als breiig, weich bis fest, elastisch, plastisch bis bröckelig bezeichnen. Im trockenen Zustand sind sie hart und spröde, körnig-locker oder mehlig-staubig. Dass die Konsistenz von Mudden für die Befahrbarkeit mit landwirtschaftlichen Maschinen ein Problem darstellen, zeigte eine Äußerung eines Landwirts, der Flächen am Dümmersee bewirtschaftete: „Es fährt sich wie auf Matten.“

Am Beginn der Erforschung der limnischen Sedimente stand deren Unterscheidung anhand von äußeren, im Wesentlichen morphologischen und petrographischen Merkmalen (Potonié, 1908; 1932 und 1935; von Post und Granlund, 1926, zit. in Grosse-Brauckmann, 1962). Mit der Entwicklung von „profilentnehmenden Apparaten, die um etwa 1917 zum ersten Mal auf dem Gebiet der Süßwasserbiologie in Gebrauch kamen“ (Nauermann, 1930, S.1) begann die intensive Erforschung der limnischen Böden. Von Beginn an profilierten sich verschiedene Wissenschaftsbereiche, wie z.B. Süßwasserbiologie, Sedimentkunde, Klima- und Vegetationskunde, limnische Bodenkunde und Mikrobiologie, deren Erkenntnisse sich zum einen auf rezente Prozesse bezogen (Passarge, 1901; Potonié, 1908, 1911, 1912 und 1915) und zum anderen die Geschichte der Landschaft abbildeten (C.A. Weber, 1908 und 1910). Schon früh wurde erkannt, dass sich die in den Bohrprofilen aus Mooren befindlichen Mudden von den in Bildung begriffenen Mudden unterscheiden. Letztere sind belebt, erfüllen damit die Anforderungen der Definition eines Bodens und werden als Unterwasserböden bezeichnet. Gegenüber den fossilen Mudden der Moore besitzen sie einen höheren Wasseranteil, der sich in einer meist breiigen bis flüssigen Konsistenz widerspiegelt und einen höheren Anteil an organischer Substanz (Potonié, 1908; Passarge, 1901; Lundquist, 1927), der sich mit der Alterung der Mudde verringert.

Frühzeitig wurde die Konsistenz der Mudden als problematisch für den Baugrund erkannt und bewertet (Walther, 1988). Potonié (1908) untersuchte im Auftrag der Preußisch Königlich Geologischen

Landesanstalt im Zuge der Baumaßnahmen im Berliner Stadtzentrum zu Beginn des 20. Jahrhunderts zahlreiche Niederungsgebiete im Berliner Urstromtal, so z.B. in der Umgebung der Charité und der Museumsinsel (ebenda). Hierbei spielten physikalische und bodenmechanische Eigenschaften die primäre Rolle.

In der UdSSR wurden Untersuchungen zur Verwendung von Mudden als Rohstoffe in der Futtermittelindustrie (Lukashev et al., 1991; Belkevich et al., 1984) sowie als Bindemittel für Baustoffe (Poznjak et al., 1967) durchgeführt. Hierbei kam es primär auf die Qualität und Quantität der organischen Substanz an. Vor allem in den 60er Jahren bis in die 80 Jahre des 20. Jahrhunderts wurden Untersuchungen zur Gewinnung von Mudden als Rohstoff, zu deren Vorkommen und physikalischen und chemischen Eigenschaften durchgeführt (Martinson, 1964; Fedorovic und Fomin, 1964; Largin und Tarantov, 1983; Bgatov et al., 1985).

Während des 2. Weltkrieges gab es rohstoffwirtschaftliche Interessen und Bestrebungen organische Mudden zur Gewinnung von Öl und festem Brennstoff zu erschließen. Es liegen mehrere umfangreiche Kartierungen von Sapropelvorkommen in den damals besetzten Gebieten Lettland, Estland und Weißrussland sowie Dokumentationen technischer Verfahren zur Gewinnung von Öl aus Sapropel aus dem Jahre 1943 vor (Vigants, 1943a, b, c; Kirsteins, 1943; Hochbergs, 1943a,b; Beyer, 1943).

Später erfolgten zahlreiche Untersuchungen zur technischen Verwendung von Mudden, darunter am häufigsten zu den in vielen Industriezweigen, z.B. als Filter-, Zusatz-, Füll- und Isolierstoff in der Baustoffindustrie verwendeten Diatomeenmudden bzw. Kieselguren (Hebmüller, 2003; Benda und Paschen, 1993; Paschen, 1986; Klinger, 1981). Für die ackerbauliche Produktion stellten insbesondere Kalkmudden ein wichtiges Düngemittel dar, das in größerem Maßstab in der DDR und in Polen abgebaut wurde (Gehl, 1959; Schmidt, 1992a; Standortgutachten, 1969).

Die Klassifikation von Mudden und subhydrischen Böden stand immer wieder im Mittelpunkt verschiedener Diskussionen und wurde bisher nicht abgeschlossen (Grosse-Brauckmann, 1994). Für Polen gibt Ilnicki (2002) einen Überblick über verwendete Klassifikationen für Mudden.

1.2 Zielstellung

Ausgehend vom beschriebenen Forschungsgegenstand werden in der vorliegenden Arbeit die wesentlichen Merkmale von Mudden und Muddeböden herausgearbeitet. Am Beginn der Forschungsarbeit stand die Identifikation und Beschreibung der verschiedenen Muddearten sowie der für die verschiedenen Muddearten spezifischen Bodenhorizonte. Dafür wurden umfangreiche Geländearbeiten durchgeführt, deren Ergebnisse und Erkenntnisse hier dargestellt werden.

Ein Ziel der Untersuchungen war die umfassende Beschreibung von chemischen und physikalischen Merkmalen von Mudden als Ausgangssubstrat der Bodenbildung sowie deren horizontbezogene Eigenschaften, die sich infolge der Pedogenese entwickelt haben. Die Veränderung von Eigenschaften als Folge von Entwässerung wird in der vorliegenden Arbeit dargestellt und eine zeitliche Reihenfolge der Bodenentwicklung (Chronosequenz) abgeleitet.

Für Mudden existierten bisher keine Hintergrundwerte bezüglich toxikologisch relevanter Parameter. Diese Lücke sollte geschlossen werden, indem die Gehalte von ausgewählten chemischen Elementen und Verbindungen bestimmt und im Vergleich zu anderen organischen Substraten bewertet werden.

Für Substrate und Böden wurden diagnostische Merkmale zu deren Unterscheidung herausgearbeitet. Darauf basierend wird ein Vorschlag für eine Klassifikation der Substratarten, Bodenhorizonte und -typen zur Diskussion gestellt.

2 Stand der Wissenschaft

2.1 Entstehungsbedingungen und Zusammensetzung von Mudden

Mudden entstehen aus Schwebstoffen, die in der Limnologie auch als Seston bezeichnet werden. Das sind kleine und kleinste Partikel mineralischen oder organischen Ursprungs, die in unterschiedlichem Ausmaß in jedem Gewässer anfallen und sich am Boden absetzen. Die anorganischen Anteile resultieren aus der Erosion im Einzugsgebiet bzw. aus gewässerinternen Resuspensionsprozessen. Durch Wasserströmungen kann es innerhalb von Gewässern zu Umlagerungen der Partikel und damit zu einem heterogenen Verteilungsmosaik verschiedener Muddearten kommen. Folgende Faktoren haben auf Verlandungsvorgänge in Seen und die Bildung von Mudden erheblichen Einfluss und führen zur Ablagerung unterschiedlicher Muddearten (siehe Tabelle 1): Wassertiefe, Seebeckenmorphometrie, Wasserspeisung des Gewässers und damit zusammenhängend pH-Bedingungen und Trophie (Succow et al., 2001).

Tabelle 1: Faktoren für die Ausprägung unterschiedlicher Muddearten (eigene Zusammenstellung)

Faktor	Auswirkung	Beispiel
Wassertiefe	Zeitspanne für Abbau von organischer Substanz (Sinkdauer) Sauerstoffverfügbarkeit	Schwarze Detritusmudden in tiefen Seebecken
Seebecken-morphometrie	Zirkulationstyp, Unterwasserströmungen haben Einfluss auf Akkumulation und Erosion von Partikeln	Molluskenschill an Schorren
Wasser-speisung	Anlieferung von Kalziumkarbonat und Nährstoffen aus dem Einzugsgebiet, Seespiegelschwankungen, Verlandungsintensität, pH-Wert und Karbonathärte des Sees, Trophie	Ablagerung von Kalkmudden, Schichtfolgen aus Mudden mit unterschiedlichem Anteil an organischer Substanz
pH	Geschwindigkeit des Abbaus der organischen Substanz	Ausbildung von Dy bei niedrigen pH-Werten
Trophie	Biomasseproduktion, Sedimentationsgeschwindigkeit	Akkumulation von Sapropel

Von welcher Art und Zusammensetzung die Sedimente sind, die in einem Gewässer zur Ablagerung kommen, wird erheblich von der Trophie und der Karbonathärte des Wassers beeinflusst (vgl. Tabelle 1) und ist somit vom hydrogenetischen Seentyp (vgl. Tabelle 3) (nach Succow, 1988) abhängig. Detritusmudden, insbesondere Lebermudden, lagern sich in Weichwasserseen, d.h. in Seen ohne Zufluss oder Grundwasseranschluss ab (Succow, 1988; Stegmann et al., 2001) (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Seentypen und deren Sedimente(zusammengestellt nach Succow et al., 2001; Mauersberger und Mauersberger, 1997)

Seentyp (Trophie), Karbonathärte	Sediment/Sedent
mesotroph und natürlich eutroph, subneutral bis alkalisch	subaquatische Torfe (Unterwassertorfe), Haupttorfbildner: Phragmites australis, Cladium mariscus (kalkreiche Seen) Kalkmudden
eutroph	Detritusmudde (Grobdetritusmudde), Kalkmudde, eutrophe Schwingmoordecken, Haupttorfbildner: Großröhrichte
polytroph	Faulschlamm
oligotroph- und mesotroph sauer	Organomudden, Grobdetritusmudden, Haupttorfbildner: Torfmoos-Bultgesellschaften
mesotroph-subneutral	Detritusmudden, braunmooshaltige Mudden, muddehaltige Braunmoostorfe durch Absinken der Braunmoose auf den Gewässergrund, Haupttorfbildner: Phragmites australis, Cladium mariscus (kalkreiche Seen), danach Braunmoose

Seetyp (Trophie), Karbonathärte	Sediment/Sedent
oligotroph-subneutral	subaquatische Braunmoostorfe, oft Drepanocladus fluitans
wechselalkalische (subneutrale) Weichwasserseen Karbonathärte < 1°dH	Lebermudden
schwachalkalische Seen, Karbonathärte 5,5–8 °dH	helle Kalkmudden
alkalische Seen, Karbonathärte > 8 °dH	helle Kalkmudden

Organische Substanz kommt im Gewässer gelöst (*dissolved organic carbon* = DOC) oder partikulär (*particular organic carbon* = POC) vor. Eine wichtige Gruppe des DOC sind die Huminstoffe, die aus gelösten kolloidalen sowie nicht kolloidalen gelösten Stoffen bestehen (Stevenson, 1994; Sposito, 1989).

Die partikuläre organische Substanz besteht im Wesentlichen aus Plankton bzw. abgestorbenem pflanzlichen und tierischen Material unterschiedlichen Zersetzungsgrades, so genanntem Detritus. Pflanzenpigmentstudien ergaben für Seen in Nordamerika einen überwiegenden Anteil von autochthonem Material (Sanger and Gorham, 1970; Gorham and Sanger, 1975; Dean, 1999). Nur in den Seen mit geringer Biomasseproduktion machte der allochthone Anteil einen nennenswerten Teil aus. Da sich die Studien auf Seen im jungglazial überprägten Bereich beziehen, können die Ergebnisse eingeschränkt auf die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Sedimenten übertragen werden.

Ist die organische Substanz soweit zerkleinert, dass faserige Bestandteile nicht mehr vorhanden sind, wird sie als Feindetritus bezeichnet. Feindetritus besteht aus kleinen Zellverbänden, Einzelzellen und deren Resten.

Als Grobdetritus werden, analog zu den Korngrößen, Pflanzenteile, die größer als 2 mm sind (Succow et al., 2001) bezeichnet. Reste von Makrophyten bilden einen erheblichen Anteil des so genannten Grobdetritus. Der in Seeablagerungen vorhandene Grobdetritus kann sowohl sedimentären als auch sedentären Ursprungs sein.

Tabelle 3: Hydrologische Grundformen von Seen (aus Succow et al., 2001)

Seetyp	Landschaftsbindung	Morphologie	Wasserspeisung Einzugsgebiet	Primäre Trophie- und Säure-Basen- Stufe
Himmelsee	Sander, Endmoränen	kleine Hohlformen, oft äolischen Ursprungs	nur Niederschlag, Wasserhaushalt allein durch Niederschlag und Verdunstung bestimmt, ohne Austausch	oligotroph, sauer bis subneutral
Kesselsee	Endmoränen, Wurzelsander	kleine, tiefe Hohlformen, Toteisschmelzen	Wasserzulauf aus der Umgebung und Niederschlag, geringer unterirdischer Abfluss	oligo- bis mesotroph subneutral, selten sauer oder alkalisch
Quellsee	Endmoränen, Gletscherzungen- becken	tiefe Becken und Rinnen	großes Einzugsgebiet, Zulauf aus Quellen, oberirdischer Abfluss	oligo- bis mesotroph, alkalisch

Seetyp	Landschaftsbindung	Morphologie	Wasserspeisung Einzugsgebiet	Primäre Trophie- und Säure-Basen- Stufe
Durch- stömungssee	Durchbruchssander, Talsandgebiete, Rinnensysteme in Grundmoränen	flache bis tiefe Becken und Rinnen	Grundwasser- durchzug oft mit oberirdischem Zufluss und Ausfluss	oligo- bis mesotroph, alkalisch
Flusssee	Auen, Urstromtäler, Talsandgebiete	seenartig erweiterte Flussabschnitte	sehr großes Einzugsgebiet, hoher Wasserdurchsatz	eutroph, alkalisch

So können bei geringen Wassertiefen, die das Wachstum von Torf bildenden Pflanzen, wie z.B. Schilf, Seggen sowie infraaquatisch lebenden Moose erlauben, Sedimentation und Torfbildung synchron stattfinden. Außerdem kann Grobdetritus sekundär in die Seeablagerungen gelangen. Es handelt sich dann um jüngere Wurzeln, die in die Sedimente eindringen und aufgrund der anaeroben Verhältnisse nicht abgebaut werden. In den Mudden häufig vorkommende Schilfrhizome sind oft jünger als die Mude selbst. Bei den Grobdetritusmudden handelt es sich eigentlich schon um einen von Makrophyten gebildeten Wasserpflanzen-Torf (Potamioni-Torf) in der Kontaktzone zu den nachfolgenden, in der Regel muddefreien, Torfen (Tolpa et al., 1967).

Faulschlämme entstehen im anaeroben Milieu durch die Ansiedlung von Fäulnisbakterien, die die organischen Stoffe in mehreren Schritten abbauen: erst zu niedermolekularen Verbindungen, wie z.B. Alkoholen, Fett- und Aminosäuren und dann zu Endprodukten des Stoffwechsels, wie z.B. N_2O (Lachgas), CO_2 und CH_4 (Methan). Zur Akkumulation von Sapropel kommt es in eutrophierten Gewässern aufgrund einer extrem großen Biomasseproduktion. Eutrophie, vor allem aber poly- und hypertrophe Seen erreichen enorme Sedimentationsraten, so z.B. im stark eutrophierten Schmachter See auf der Insel Rügen 1,3-1,8 cm pro Jahr (Succow et al., 2001). In Torfstichen der Friedländer Großen Wiese wurden Raten von 3,0-5,6 cm pro Jahr ermittelt (Knapp, 1997).

In Kesselmooren wurden vielfach muddeähnliche Sedimente nachgewiesen, die sich im Liegenden von Braunmoostorfen bzw. Braunmoos-Radizellentorfen befanden (Timmermann, 1999; Chmielewski, 2005) und bei denen es sich um Torfmude im Sinne der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) handelte. In eine Matrix von rötlich-brauner Farbe und weicher Konsistenz waren grobpflanzliche Reste, zentimetergroße Aggregate von Braunmoostorf und Zapfenschuppen von Kiefern eingebettet. Aus der Substratabfolge im Profil wurde geschlossen, dass es sich dabei um infraaquatisch gebildete Mudden unterhalb von Schwingmoorflächen handelt. Nach den morphologischen Eigenschaften waren diese Sedimente den Mudden näher verwandt als den Torfen.

Der Abbau der organischen Substanz verläuft infolge des eingeschränkten Gasaustausches mit der Atmosphäre gehemmt und führt über verschiedene Degradations- und Polymerisationsstadien der organischen Substanz zur einem humosen Horizont (Kappler et al., 2001; Ishiwatari, 1985; Ishiwatari, 1992; Lee and Wakeham, 1992). Die organische Substanz ist meist sehr feinkörnig und stärker humifiziert, da das Plankton, das die organische Substanz zu einem großen Teil bildet, überwiegend aus leicht zersetzbaren Komponenten, wie z.B. Mono- und Polysacchariden besteht (Taylor et al., 1999; Kiefer et al., 1997; Dietrich et al., 1995; Ray und Lahaye, 1995; Kloareg und Quatrano, 1988). Außerdem bilden z.B. Diatomeen so genannte extrazelluläre polymere Substanzen, die vorwiegend aus Kohlenhydraten besteht (ebenda). Taylor et al. (1999) stellten eine tiefenabhängige Umkehr des Verhältnisses zwischen leichtlöslichen kolloidalen Kohlenhydraten (konzentriert in den oberen Sedimentschichten und korreliert mit der Algenbiomasse) und an die mineralische Substanz gebundenen Kohlenhydraten fest. Organische Substanz aquatischen Ursprungs aus einem Hochmoorsee enthält in absteigender Reihenfolge Fulvosäuren, gelöste organische Substanz (DOC) und Huminsäuren, jeweils mit großer Variabilität der chemischen Strukturen (Leineweber und Schulten, 2001; Schulten, 1999).

Als weiterer mengenmäßig bedeutsamer Anteil in Mudden tritt Kalziumkarbonat auf. Kalziumkarbonat entsteht durch präzipitative und biogene Kalkablagerung. Zur chemischen Fällung (Präzipitation) kommt es in Gewässern mit kalkreichen Einzugsgebieten, wenn gelöstes Kalziumkarbonat mit dem Grundwasser ins Gewässer gelangt und auf Grund von plötzlichen Veränderungen des chemischen Milieus, in Abhängigkeit vom Gehalt an CO_2 und der Temperatur Kalziumkarbonat ausgefällt wird. Chemische Kalkfällung findet häufig in Fließgewässern und Quellen statt und führt zu Kalkkrusten auf Pflanzen und Steinen, dem so genannten Travertin (Jäger, 1966), und zu Quellkalken (Stegmann, 2005).

Biogene Entkalkung findet als Folge des photosynthetischen CO₂-Entzugs durch Algen und Makrophyten statt. Im Litoral von Seen lagern sich Kalzitkristalle als Kalkkruste auf Blättern ab, während sich im Pelagial durch die Aktivität des Phytoplanktons feine Kalzitkristalle ablagern. Beispielsweise sind für den See Breiter Luzin in Mecklenburg-Vorpommern Kristallgrößen von 0,6-5 µm und Konzentrationen von 5-15 g m⁻³ belegt (Walpersdorf, 2000). Bei pH-Wert-Verringerung bzw. CO₂-Erhöhung, z.B. infolge der Mineralisierung von organischer Substanz am Gewässerboden, kann es zur Lösung der Kalzitkristalle kommen (ebenda), wodurch wiederum gelöstes Kalzium in die Wassersäule gelangt. Biogene Kalke entstehen auch durch die Einlagerung in Skelette und Gehäuse, wie z.B. bei Characeen und Mollusken.

Der dritte wichtige Bestandteil der untersuchten Mudden sind biogene und lithogene Silikate. Zu den biogenen Silikaten gehören die Diatomeen, die einen sehr großen Anteil am Sediment ausmachen können, und die Phytolithen. Lithogene Silikate sind Gesteinsbruchstücke und Minerale verschiedener Korngröße.

Diatomeenmudden sind schneeweiß, hell- und dunkelgrau, grünlich-braun und blau (Maczey und Chmielecki, 2003). Die Farbe wird bestimmt durch den Anteil an organischer Substanz, der bei weißer Diatomeenmudde am geringsten ist. Für eine weiße Diatomeenmudde (bzw. Kieselgur) wird ein Anteil an organischer Substanz von 6,5 Masse-% angegeben (Maczey, 2002). Laut Maczey und Chmielecki (2003) treten weiße Diatomeenmudden nahezu ausschließlich in Vorkommen, die zeitweilig über dem Grundwasserspiegel liegen, auf. Dies wird auf eine sekundäre Zersetzung der organischen Substanz unter aeroben Bedingungen zurückgeführt.

Bei nur geringem Eintrag von mineralischen Partikeln aus dem Einzugsgebiet ist das Verhältnis zwischen Kalziumkarbonat- und Diatomeengehalt im Sediment von der Menge potenziell löslichen Kalziumkarbonats im Einzugsgebiet der Lagerstätte bestimmt. Ist kein Kalziumkarbonat im Einzugsgebiet vorhanden, greifen die Sickerwässer die Silikate an, die dann in gelöster Form mit dem Grundwasser in das Gewässer gelangen und das Baumaterial für die Skelette der Diatomeen bilden. Die von Maczey (2002) untersuchten Diatomeenmudden wiesen kein Kalziumkarbonat auf. Jedoch lagen unterhalb der Diatomeenmudden Kalkmudden. Mit Abschluss der Entkalkung der Böden und Substrate im Einzugsgebiet und daran anschließender intensiverer Silikatverwitterung verbesserten sich offensichtlich die Bildungsbedingungen für Diatomeenmudden. Mit der Silikatverwitterung einher geht die als Verbraunung bezeichnete Freisetzung von Eisen und Mangan. Ein Teil wird mit dem Sicker- und Grundwasser abtransportiert und gelangt in die Seen und Flüsse. Die Anreicherung der für Diatomeenlagerstätten bekannten hohen Eisenkonzentrationen (Dahms, 1972; Naumann, 1929 und 1930; Benda et al., 1974 und 1977) ging somit einher mit intensiven Verbraunungsprozessen in den Böden. In den von Berglund (1995a) untersuchten diatomeenhaltigen Mudden lagen die Gehalte an biogenem Siliziumdioxid zwischen 5 und 25,5 Masse-%. Diese Mudden wiesen niedrige pH-Werte von 3,4-5,3 auf und enthielten kein Kalziumkarbonat.

Mit der Sedimentation der Schweb- und Sinkstoffe setzt unter subhydrischen Verhältnissen die Bodenbildung ein. Bei anaeroben Verhältnissen dient den Mikroorganismen das im Wasser gelöste Nitrat und Sulfat als Sauerstoffquelle und es werden Ammonium und Metallsulfide gebildet. Ein Indiz für die rasche Zersetzung der organischen Substanz ist das nur sehr seltene Auftreten von fast reinen organischen Ablagerungen (Succow, 1988).

Die Farbe der Mudden entsteht durch persistente und nicht persistente Komponenten (siehe Tabelle 4):

persistent: Persistente Farben werden vom Anteil und von der Art von organischen Substanzen (Pflanzen- bzw. Tierart, Grad des Abbaus), Karbonaten (Mineralart, z.B. Kalziumkarbonat, Siderit, Gips) und Silikaten (z.B. Quarz, Feldspäte, mafische Mineralien) bestimmt. Je größer der Anteil an organischer Substanz, desto dunkler ist der Boden in der Regel gefärbt, außer bei Anwesenheit von schwarzen Eisensulfidverbindungen.

nichtpersistent: Nichtpersistente Farben werden vor allem von oxidierten und reduzierten Eisenverbindungen hervorgerufen. Diese ändern sich mit dem Kristallisationsgrad und können in Abhängigkeit von den Redoxverhältnissen in die lösliche Phase (Reduktion von Fe³⁺ zu Fe²⁺) übergehen und ausgewaschen werden.

Durch verschiedene Prozesse, wie z.B. Zersetzung und Turbation kann sich die ursprüngliche Farbe des Ausgangsmaterials erheblich verändern. Bei Zutritt von Luftsauerstoff, z.B. beim Aufgraben eines Bodenprofils oder bei der Entnahme von Bodenproben, finden oxidative Prozesse an der Substratoberfläche statt, die ebenfalls zu einer Farbveränderung führen. Organische Substrate, wie z.B. Torf oder Detritusmudde werden meist dunkler, während mineralische Substrate, wie z.B. Diatomeenmudde (vgl. Maczey und Chmielecki, 2003) meist aufhellen.

Tabelle 4: Munsell-Farben von Eisenmineralen und Huminstoffen (Median und Bereich)(verändert nach Scheffer/Schachtschabel, 2002, S. 269)

Stoff	Farbton	Helligkeit	Farbtiefe	Beschreibung	Vorkommen
Goethit (FeOOH)	0,4 Y (7,3 YR ... 1,6 Y)	6,0 (4,0...6,8)	6,9 (6,0...7,9)	gelbbraun	häufigstes Fe-Oxid in den gemäßigten Breiten
Ferrihydrit (5Fe ₂ O ₃ *9 H ₂ O)	6,6 YR (2,8 YR... 9,2 YR)	4,9 (2,3...6,3)	6,3 (1,9...7,3)	rotbraun	u.a. in Go-Horizonten von Gleyen
Jarosit (KFe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂)	3,0 Y (2,6 Y ... 3,6Y)	7,8 (7,4...8,0)	5,1 (3,8...6,2)	hellgelb	Oxidationsprodukt von Sulfiden, in sulfatsauren Böden, bevorzugt an Aggregatoberflächen
Schwertman nit (Fe ₈ O ₈ (OH) ₆ SO ₄)	8,5 YR (6,2 YR ... 0,3 Y)	5,9 (4,7...6,7)	6,9 (4,0...9,1)	orange	sulfatsaure Böden, bevorzugt an Aggregatoberflächen
Vivianit (Fe ₃ (PO ₄) ₂ *8 H ₂ O)	-	-	-	reduziert weiß, oxidiert leuchtend blau	häufig in Mudden und Torfen
Siderit (FeCO ₃)	-	-	-	weiß	unter anaeroben Verhältnissen, z.B. in Quellmooren, in Vergesellschaftung mit Goethit im Raseneisenstein
Eisensulfide (FeS, FeS ₂)	-	-	-	schwarz	Marschböden, Mudden
Manganoxide	-	-	-	schwarzbraun, schwarz	als separate Anreicherungen in Grund- und Haftnässe beeinflussten Böden
Huminsäure	9,5 R (6,1 R...5,1 YR)	2,4 (1,8...3,3)	1,5 (0,7...2,9)	dunkelbraun	Abbau von organischer Substanz
Fulvosäure	7,9 (6,8 YR...9,1 YR)	6,0 (5,1...7,1)	4,0 (3,5...4,9)	hellbraun	Abbau von organischer Substanz
Humine				tiefschwarz	Polymerisation aus den Abbauprodukten von organischer Substanz
DOC	8,4 YR	5,4	4	hellbraun	Gewässer

2.2 Bodenbildung, bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden

Passarge (1901) und Potonié (1908) liefern eine auf morphologischen Merkmalen beruhende Unterteilung der limnischen Sedimente. Es handelt sich dabei mehr um eine Systematik, denn um eine Klassifikation, da eindeutige diagnostische Parameter fehlen. Die Unterteilung nach der Zusammensetzung erfolgt bei beiden Autoren ohne Angabe von Grenzwerten, sondern nach organoleptischen Kriterien. Während Passarge vor allem die rezenten Seesedimente untersuchte und teilweise eine Verbindung zu den konsolidierten Mudden der Moore herzustellen versuchte, unterscheidet Potonié nach dem Konsolidierungsgrad in Sapropel und Saprokoll und bezieht damit ein für die Praxis (z.B. Baugrunduntersuchungen) bedeutsames

Beurteilungsmerkmal in die Namensgebung ein.

Über die Bodenentwicklung bzw. Eigenschaften in trockengefallenen bzw. -gelegten Mudden berichtet Potonié (1908) indirekt, indem er auf die irreversiblen Schrumpfungsprozesse bei Trocknung von Faulschlammproben hinweist. Selbst bei mehrjährigem Halten unter Wasser behielt die Probe ihre Form und löste sich nicht auf oder nahm einen breiigen Zustand an. Nur eine reine Algenmudde nahm unter Wasser wieder eine gallertartige Konsistenz an, „... indem er jedenfalls so weich wird, dass er sich wie Hartkäse schneiden lässt“ (ebenda, S. 136). Für konsolidierte Sapropel beschreibt er eine infolge Austrocknung sichtbar werdende Schieferung sowie einen muscheligen Bruch. Lufttrockenes Sapropel wird als „ungemein hart“ beschrieben (Potonié, 1908, S. 121). So genannter Dopplerit, ein aus gefällten Humussäuren bestehendes Sediment, wird als – im bergfeuchten Zustand – fest-gallertartige dunkle Masse beschrieben. Mikroskopisch und makroskopisch identifizierte Potonié (1908) diverse Algenspezies, Pilzhypen und -sporen, diverse Bryophyten, Pteridophyten, Gymnospermenreste, diverse Mono- und Dicotyledonenreste, Rhizopodengehäuse, Spongillennadeln, Mollusken- und Crustaceenschalen, Insektenreste und Fischreste sowie Reste von Landpflanzen und Pollen und Sporen. Außerdem beschreibt er folgende amorphe Bestandteile: gallertartige organische Grundsubstanz, Kalziumkarbonat, Ton, Sand, Ferrosulfid, Pyrit-Konkretionen sowie Vivianit. Ein großer Anteil an pflanzlichen Makroresten wird auf bei Wassertiefen < 5 m häufig dominierende Wasserpflanzen, wie z.B. *Potamogeton* und *Nymphaea* zurückgeführt.

Sapropel- und Saprokoll-Kalke werden von Potonié (1908) als im subhydrischen Zustand breiig, durch Wasserverlust gallertartig und lufttrocken als poröses, leichtes und meist leicht brechbares Gestein bezeichnet. Kalk-Sapropel dagegen ist im lufttrockenen Zustand sehr hart. Characeenkalke werden als bröckelig beschrieben; im Unterschied zu dem ebenfalls durch biogene Kalziumkarbonatabscheidung entstandenen so genannten Phanerogamenskalk, einem aus Kalziumkarbonatkrusten von inkrustierenden höheren Pflanzen bestehenden Sediment, das als „feiner“ beschrieben wird. Dabei treten – in Abhängigkeit vom Kalkgehalt – dunkelgraue bis reinweiße, bei Anwesenheit von Eisen auch gelbliche Färbungen auf.

Potonié (1908) beschreibt zur Verwendung des Begriffs Sapropelit „... wobei Pelit nur auf die ganz feine, tonartige Beschaffenheit hinweist. Ein Sapropelit kann ganz rein sein (ausschließlich aus organischen Resten hervorgegangen), oder kann noch anorganische Bestandteile, ebenfalls von Pelitnatur enthalten.“ Als Sapropel bezeichnet er ausschließlich den organischen Anteil von limnischen Sedimenten und ordnet diese dann den Kaustobiolithen (von griechisch kaustos = brennbar) zu. Potonié unterscheidet zwischen limnisch gebildetem Sapropel und terrestrisch gebildetem Humus. Limnische Sedimente, die nur einen geringen Anteil an organischer Substanz aufweisen, werden als Akaustobiolithen bezeichnet.

Nach dem Konsolidierungsgrad und der Zusammensetzung unterscheidet Potonié (1908) weiter Saprokoll (Faulgallerte) als schon konsolidiertes Sediment, Saprokolltorfe – hierunter fallen bei Potonié sowohl die aus aufgearbeitetem Torf bestehenden Torfmudden als auch muddehaltige Torfe sowie der so genannte Doppleritsaprokoll, der durch Humussäure und Schwemmtorfzusatz geprägt ist – Diatomeensaprokoll als ein im wesentlichen aus Diatomeen bestehendes Sediment, Kalksapropel bei – nicht genauer spezifiziertem – Kalkgehalt. Kaum oder kein organisches Material enthaltende biogene Sedimente aus Diatomeen oder Kalziumkarbonat werden nicht als Sapropel bezeichnet, sondern als Diatomeenpelit oder Seekalk. Bei Vorhandensein von Kalziumkarbonat im Einzugsgebiet kommen so genannter Diatomeen-Sapropel-Kalk bzw. ein Diatomeen-Kalk-Sapropel vor (je nach Gehalt an organischer Substanz), beschrieben bei Potonié (1908) für Berlin von der Charité bis zur Museumsinsel und Brandenburg.

Silikatische limnische Sedimente werden – auf Grund ihrer Ähnlichkeit mit den organischen Sedimenten – als Sapropel- oder Saprokollerden bezeichnet, womit Sapropelite gemeint sind, die Ton, Feinsand und Mergel enthalten. Sedimente, die Mittel- und Grobsand enthalten, werden als Saproammiten bezeichnet. Konsolidierte Mudde wird als Bestandteil der Moore aufgefasst. In Passarge's Publikation über „Die Kalkschlammablagerungen in den Seen von Lychen, Uckermark“ (Passarge, 1901) sind Aussagen zur Horizontbildung in subhydrischen Böden enthalten, aber nicht explizit als solche benannt.

Passarge (1901) untersuchte in den Seen um Lychen/Uckermark Kalkablagerungen verschiedener Entstehung und Zusammensetzung. Dabei kommen in den meisten Ablagerungen Characeen vor, die anhand der ursprünglich die Pflanzen umgebenden kleinen Kalkröhren, die zylindrisch durchbohrt sind, zu erkennen sind. Neben den Characeenröhren identifizierte er massenhafte Kalkablagerungen in Form kleiner Körnchen. So ist möglicherweise auch seine Beschreibung des Kalkschlammes der Characeenrasen, die zunächst nichts über die makroskopische Identifikation von Kalkhüllen beinhaltet, zu erklären: „Es ist ein weisslich-gelblich-grauer Schlamm, den man zwischen den Fingern kaum fühlt“ (ebenda, S. 91). Neben den Kalkbestandteilen treten organogene silikatische Bestandteile, wie z.B. Diatomeen und Phytolithen sowie organische Reste auf. Es wird explizit auf das Fehlen von Tonmineralen hingewiesen, während Sandkörner vorkamen. So genannte Muschelbreccien traten vorwiegend in Flachseen auf und waren meist von sandigem Material unterlagert, was für eine Akkumulation unter bewegtem Milieu spricht. Die Bildung von

Kalziumkarbonat wird mit der Anwesenheit von Kalziumkarbonat abscheidenden Pflanzen erklärt. Für die Ablagerungen der – wie Passarge (1901) es nennt – „gemischten Pflanzendecke“ werden grau-bräunliche bis schwärzlich-grünlich-graue Farben, Pflanzenreste und Muschelschalen sowie Kalkplättchen (mit Formen von *Elodea*) und Kalkzylinder, also Hüllen von *Chara*, beschrieben. Der Anteil an Kalziumkarbonat ist zugunsten der organischen Substanz geringer und wiederum kommen keine Tonminerale vor. Nahezu kalkfreie Ablagerungen sind der von Passarge (1901) so genannte tiefschwarze *Vaucheriaschlamm* und der *Tiefenschlamm*. Ersterer besteht zu einem großen Teil aus den zersetzten fädigen Resten der Gelbgrünalge *Vaucheria* sowie aus Beimengungen von Mollusken, Diatomeen und Spongillennadeln. Kalziumkarbonat tritt nur an Pflanzenresten krustiert auf. Der *Tiefenschlamm* wird als fein, hell- bis dunkelbraun, marmoriert beschrieben und ist von homogener Beschaffenheit, da alle Bestandteile in etwa die gleiche Größe aufweisen. Er besteht vorwiegend aus dem organischen Detritus, Muschelschalen, Diatomeen und Kalkkörnern in unterschiedlichen Mengen, während Kalkblätter und -zylinder nicht vorkommen. Infolge der Trocknung der Probe trat eine Schrumpfung bis auf 1/15 des ursprünglichen Volumens auf. Passarge (1901) postuliert eine Zunahme des Kalkgehaltes infolge Alterung von Schlämmen und der dabei fortschreitenden Zersetzung der toten organischen Substanz. So gibt er z.B. für Characeenschlämme einen Anstieg von 77 Masse-% CaCO_3 im Substrat *in statu nascendi* auf bis zu 91 Masse-% CaCO_3 für gealterte konsolidierte Characeenkalkmudden an. Er belegt die Alterung der subhydrischen Sedimente anhand von Sedimentbohrungen in Seen in der Umgebung von Lychen/Uckermark. Er beobachtete, dass sich mit der Tiefe die Farbe sowie der Gehalt an organischer Substanz der subhydrischen Kalkmudden ändern, so dass sich ihr Aussehen langsam dem Aussehen der Kalkmudde, wie sie als konsolidierte Schichten in den Mooren vorkommen, angleichen. Potonié (1908) unterscheidet je nach Anteil an brennbarer organischer Substanz Diatomeen-Pelit, Diatomeen-Sapropel sowie als konsolidiertes Sediment Diatomeen-Saprokoll.

Potonié (1908) weist auf die Ähnlichkeit zwischen Sapropeliten und sapropellosen Tonen, Sanden und Mergeln im lufttrockenen Zustand hin. Für Mudden im feldfrischen Zustand wird die schlammige, gallertige Konsistenz von limnischen Sedimenten als ein Identifikationsmerkmal genannt (ebenda). Sapropelton ist von weicher, schlammiger, gallertiger Konsistenz und weist im lufttrockenen Zustand eine hohe Festigkeit auf. Sapropelsand enthält mikroskopisch erkennbare figurierte organogene Bestandteile (Diatomeen, organische Reste) und kann flüssig-gallertig sein, da der Sand, meist Feinsand, im Sapropel suspendiert ist. Lufttrocken wird er als locker-porös und dem Feinsand sowie dem Diatomeenpelit als sehr ähnlich bezeichnet (ebenda).

Kivinen (1938a, b) untersuchte Muddeböden in Finnland und teilte diese in zwei Gruppen ein: die Tongyttjen und die eigentlichen Gyttjen. Erstere enthält kaum Pflanzenreste, während in der so genannten eigentlichen Gyttja feinverteilte organische Substanz sowie Schalen von Diatomeen vorkommen. Die Trockenrohdichten liegen zwischen 0,39 und 1,63 g cm⁻¹, wobei er eine Zunahme mit zunehmenden Glührückstand feststellte. Außerdem beschreibt er eine Zunahme der Trockenrohdichte nach dem Einsatz von Kulturmaßnahmen und Schrumpfung infolge Austrocknung, stellt also pedogenetische Veränderungen fest. Dabei stellte er fest, dass die Schrumpfung in der Höhe größer ist als die der vertikalen Ausdehnung und dass es sich dabei um einen z.T. irreversiblen Prozess handelt.

Uggla (1964, 1972) hat für Böden aus Detritusmudden im Bereich der Masurischen Seenplatte eine Horizontbildung und Änderung von Bodenkennwerten als Folge der Entwässerung beschrieben. Folgende charakteristische Strukturmerkmale werden dabei erwähnt: die Ausbildung eines Plattengefüges mit sehr dünnen Platten sowie Riss- und Kluftbildung durch Setzung und Schrumpfung sowie die Ausbildung von Bodenhorizonten mit unterschiedlicher Gefügeentwicklung. Er beschreibt das Vorhandensein von vertikal verlaufenden Klüften, die in etwa die maximale Entwässerungstiefe erreichen, sowie die Entstehung von polygonartiger Kluftbildung im Oberboden und die Ausbildung von Mikrostrukturen, die er auf die Einwirkungen von Frost zurückführt, ähnlich wie bei der Entstehung von Frostmusterböden (Uggla, 1968; Uggla et al., 1968). Bezüglich der Humusgehalte kommen Uggla et al. (1968) nach Analyse der Verhältnisse von Fulvo- zu Huminsäuren sowie der Trübung zu der Aussage, dass eine Mineralisierung der Detritusmudde stattfindet und dabei der Anteil an organischer Substanz im Gegensatz zu den permanent wassergesättigten Horizonten abnimmt.

In Deutschland liegen einige Untersuchungen über die wasser- und landwirtschaftliche Erschließung sowie Eigenschaften von Muddesubstraten und –Böden vor (Birnbacher, 1958; Schmidt, 1988 und 1992a,b; Paulmann und Marquart, 1998; Grunert, 2002; Maczey und Chmielewski, 2003). Von Gebhardt (1978) liegt eine Untersuchung über die Beziehungen zwischen Trockensubstanzvolumen und Durchlässigkeitsbeiwert bei Ton-, Torf- und Kalkmudden vor.

Für so genannte Leber- und Kalklebermudden im Federseemoor nennt Birnbacher (1958) ein sehr großes Gesamtporenvolumen von 90 Vol.-%, bei einem entsprechend geringen Substanzvolumen und Aschegehalten zwischen 13 und 90 Masse-%. Er weist indirekt auf einen großen Anteil an Feinporen hin (S. 44), indem er das Porenwasser als nicht kapillar gebunden, sondern als nicht pflanzenverfügbares Wasser, also Totwasser, charakterisiert. Bei Verdunstungsversuchen stellte er ein Wasservolumen von 10 Vol.-% fest, das

nach Ende des Versuches noch fest gebunden vorlag und erst bei der Trocknung bei 105 °C abgegeben wurde. Infolge der Wasserabgabe kam es zu einer starken Schrumpfung. Die Lebermudde schrumpfte auf 10 % des Ausgangsvolumens, die Kalkmudde dagegen nur auf 17 %. Bei Wiederbefeuchtungsversuchen nahm die Lebermudde 48 Vol.-% ihres ursprünglichen Wassergehaltes auf, die Kalklebermudde sogar nur 37 Vol.-%, d.h. die Wasserabgabe bei der Trocknung ist zu einem großen Teil irreversibel. Kivinen (1938a) stellte einen positiven Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Schrumpfung, dem Ausgangswassergehalt und dem Anteil an organischer Substanz her.

In Untersuchungen von Pons und Zonneveld (1965) und Ellis und Atherton (2002) zur Bodenentwicklung in jungen Alluvialböden werden charakteristische morphologische Merkmale – überwiegend Gefügemerkmale – beschrieben. Diese repräsentieren verschiedene Reifestadien, in denen sich die drei Stufen der von Schmidt (1988) genannten Setzungsstadien zeigen.

Ebenso wie schon Potonié (1908) und später Uggle (1964) benannte Birnbacher (1958) als charakteristisches Merkmal der Lebermudden das Zerfallen in horizontal angeordnete Plättchen bei Trocknen oder Frieren. Die von ihm untersuchte Mudde reagierte thixotrop. Dabei erfolgte eine Umwandlung vom Gel- zum Solzustand infolge mechanischer Einwirkung unter teilweiser Auflösung von Wasserstoffbrücken im Kalziumkarbonatgerüst. Dieses Verhalten von Mudden macht sie zu einem instabilen Baugrund, der in den entsprechenden Untersuchungen beurteilt wird. Die Hydratation von Kalziumkarbonat wird in der Baustoffverfahrentechnik bei der Herstellung von Zement ausgenutzt (Witt, 2002; Henning und Kudjakow, 1983).

Schmidt (1988, 1992a und b) und Schmidt und Scheibner (1988) untersuchten die mechanischen Eigenschaften von Mudden, wie Dichte, Plastizität, Wassergehalt und Wasserhaltevermögen, Porosität, Setzungs- und Kompaktionsverhalten um Aussagen über das Verformungsverhalten abzuleiten. Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizität von Leber- und Detritusmudden ergeben jedoch nur bedingt reproduzierbare Werte und eignen sich somit nicht als Parameter für die Klassifikation dieser Mudden, wie dies für Torfe verschiedener Zersetzungsgrade möglich ist. Er ermittelte außerdem eine enge Korrelation von Reindichte und Glührückstand und leitete eine Regressionsformel mit zwei Konstanten zu Bestimmung der Reindichte aus dem Glührückstand ab. Die daraus für die organische Substanz unterschiedlicher Muddearten ermittelten, nur geringfügig voneinander abweichenden Reindichten von 1,39 g cm⁻³ für Detritusmudden, 1,38 g cm⁻³ für Kalkmudden und 1,41 g cm⁻³ für Tonmudde erfahren also eine gute Anpassung (siehe Tabelle 5). Auch die Reindichten des Glührückstandes der vermutlich fast ausschließlich silikatischen Bestandteile der Ton- und Detritusmudde mit 2,67 und 2,64 g cm⁻³ und der der Kalkmudde mit 2,69 g cm⁻³ (Reindichte von Quarz: 2,64 g cm⁻³, Reindichte von Kalkstein 2,65–2,8 g cm⁻³) sind plausibel.

Tabelle 5: Zusammensetzung von Detritus- und Leber-, Kalk- und Tonmudden (nach Schmidt 1992a, b)

Muddeart	Glührückstand [%]	Reindichte [in g cm ⁻³]	Karbonatgehalt [%]	Tongehalt [%]
Detritus- und Lebermudden	7,2–68,7	1,42–2,13	< 18	-
Kalkmudden	71,2–97,8	2,01–2,71	30–85	-
Tonmudden	70,9–99,7	2,08–2,72	< 24	15–55

Methodenvergleiche zur Bestimmung von Bodenkennzahlen (Schmidt, 1988) basieren auf der Ermittlung des Zusammenhanges verschiedener Materialeigenschaften von Torfen und Mudden, wie Anteil an organischer Bodensubstanz, Reindichte, Zersetzungsgrad, Konsistenzgrenzen und Wasserspannungsparameter. Dabei wies er die enge Korrelation zwischen dem Wassergehalt bei pF3 (= 100 kPa Saugspannung) und der Wassereinheitszahl nach Ohde, die unter Wirkung eines Gewichts von 10 kg gemessen wird, nach. Trotz gleicher Messspannung sind die bei pF3 gemessenen Werte rund 30 % geringer als die mittels der Methoden von Ohde gemessenen. Schmidt (1988) führt zur Bewertung des Wasserbindungsvermögens von Substraten in Anlehnung an Skempton (1948, zitiert in Schmidt, 1988) den Indikator „Aktivität“ ein, der sich als Quotient aus Plastizität und Anteil an organischer Substanz ergibt. Er weist einen engen Zusammenhang zwischen dem Verdichtungsbeiwert und der Einheitswasserzahl nach. Das mittels Ödometerversuchen analysierte Setzungsverhalten von Mudden ergab eine Primärsetzung, verursacht durch das Auspressen des Porenwassers sowie eine Sekundärsetzung, als deren Ursache die Umordnung der Bodenstruktur vermutet wird. Allerdings ergaben sich keine eindeutigen Anhaltspunkte für die zeitliche Zuordnung des Einsetzens der jeweiligen Phase. Schmidt (1988) berichtet über durch Schrumpfung hervorgerufene Schwundrisse von bis zu einem Meter Tiefe und maximalen Breiten von bis zu 20 cm. Diese sind teilweise mit Material aus dem Oberboden sowie Kleinpolyedern des Unterbodens verfüllt, während Teile unverfüllte Hohlräume sind.

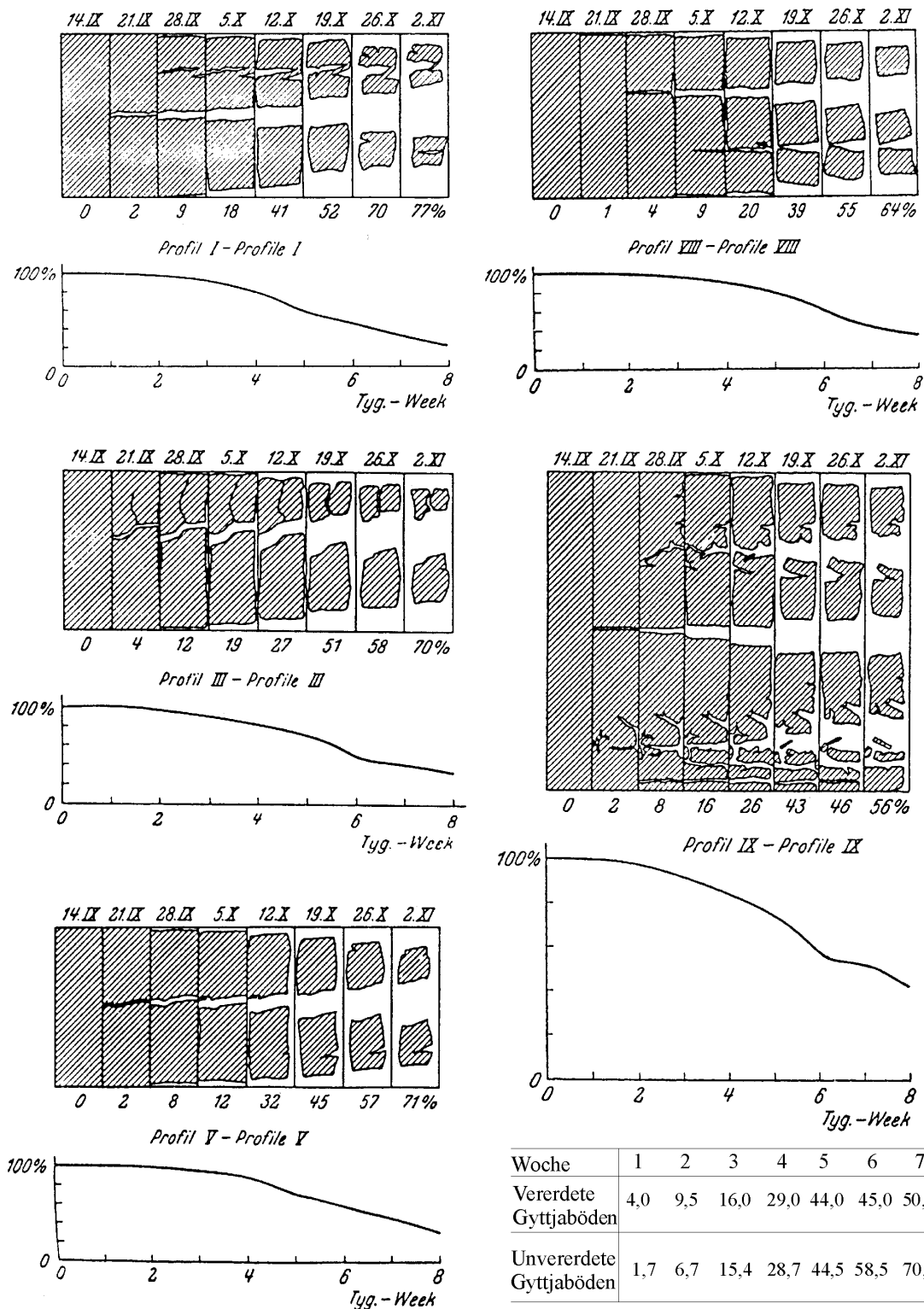


Abbildung 1: Schrumpfungsdynamik in Gytjaböden, Profile I, III und V unveredete Gytja, Profile VIII und IX veredete Gytja (aus Ugglä, 1968a)

Das Ausmaß der Schrumpfung nimmt mit dem Fortschritt der Bodenentwicklung ab. Dies belegen von Uggla (1968a) über einen Zeitraum von sieben Wochen durchgeführte Messungen zur Dynamik der Schrumpfung. Während pedogenetisch unveränderte Mudden in diesem Zeitraum rund 71 % ihres ursprünglichen Volumens verloren, betrug die Volumenabnahme bei pedogenetisch veränderten Mudden nur rund 64 % (vgl. Abbildung 1). Außerdem zeigten die Versuche, dass pedogenetisch unveränderte Mudden bis zur ca. fünften Woche eine relativ kontinuierliche Volumenabnahme vollzogen und danach ein deutlicher Sprung der Abnahme erfolgte. Im Unterschied dazu erfolgte dieser Sprung bei den pedogenetisch veränderten Mudden etwas später (nach der sechsten Testwoche). Dies könnte mit der in Folge der Bodenentwicklung veränderten Porenzusammensetzung zusammenhängen, die in der vorliegenden Arbeit festgestellt wurde (siehe Kapitel 6). Uggla (1964) erkannte in den von ihm untersuchten Böden eine Bodenentwicklung infolge Entwässerung und Nutzung und unterschied zwei Gruppen: die Moor-Gyttjaböden und die Mursch-Gyttjaböden. Er benennt für die Moor-Gyttjaböden folgendes Profil: Humus-Horizont, Übergangs-Gyttja-Horizont, unveränderte Gyttja. Für die Mursch-Gyttjaböden sind keine Horizonte beschrieben. Die Substrate untergliedert er in Detritus-Gyttja, Kalk-Detritus-Gyttja und Kalk-Gyttja. Maczey (2002) sowie Maczey und Chmielewski (2003) ermittelten den Zusammenhang zwischen Diatomeengehalt, Korngrößenverteilung und der Einheitswasserzahl nach Ohde von oberflächennah anstehenden Diatomeenmudden mit einem Anteil an organischer Substanz zwischen 4,7 und 30 Masse-%. Der Diatomeengehalt wurde mit zwei Verfahren festgestellt: Wegen der Größe der Süßwasserdiatomeen geht man davon aus, dass die Korngrößenfraktion mit einem Äquivalentdurchmesser von $< 20 \mu\text{m}$ den Gehalt an Opal und damit den Diatomeengehalt widerspiegelt, während der Anteil $> 20 \mu\text{m}$ vor allem aus anorganischem Quarz besteht. Mittels Röntgenphasenanalyse stichprobenartig gemessene Opalgehalte stimmten dabei recht gut mit der aus der Korngrößenanalyse ermittelten Summe aus Mittel- und Feinschlufffraktion überein. Die EWZ-Werte betragen zwischen 1,28 und 2,36 und liegen damit zwischen den von Schmidt (1992a) ermittelten Werten für Kalk- und Lebermudden. Es zeigte sich, dass der Anteil an organischer Substanz den größten Einfluss auf das mit dieser Methode indirekt ermittelte Wasserhaltevermögen hat und den etwaigen Einfluss der stark porösen Diatomeen überdeckt.

Gleiches gilt für die Trockenrohdichte, bei der ein linearer Einfluss des Diatomeengehaltes von den Schwankungen des Anteils der organischen Substanz überdeckt wurde, wobei eine sehr geringe Trockenrohdichte bei hohem Diatomeengehalt festgestellt wurde ($0,4 \text{ g cm}^{-3}$ bei einem Glühverlust von 6,5 Masse-%).

Die von Berglund (1996) untersuchten diatomeenhaltigen Mudden wiesen ebenfalls geringe Trockenrohdichten bei hoher Porosität auf (bei 14 Masse-% biogenen Silikaten und 8,9 Masse-% Humusgehalt eine Trockenrohdichte von $0,55 \text{ g cm}^{-3}$ sowie 75,3 Vol-% Porenvolumen). Eine Überlagerung der Einflüsse von Humus- und Diatomeengehalt wird hier durch die Zusammenfassung dieser beiden Gehalte gelöst.

Methodische Untersuchungen zum Glühverlust von Seesedimenten liegen von Heiri et al. (2001) und Grunert (2002) vor. Darin zeigte sich eine von der Größe und dem Gehalt an organischer Substanz der Probe abhängige Gleichgewichtseinstellung des Gewichtsverlustes. Während 40 bis 70 Masse-% der organischen Substanz innerhalb der ersten zwei Stunden bei einer Temperatur von 530°C verbrannte, waren auch nach bis zu 64 Stunden noch Gewichtsverluste zu verzeichnen. Allerdings wurde dieser Gewichtsverlust vor allem auf den Verlust durch flüchtige Salze und Kristallwasser der Tonminerale zurückgeführt. In der vorliegenden Arbeit wurden die Proben im Muffelofen bei 550°C für eine Dauer von vier Stunden geglüht. Damit dürfte gesichert sein, dass nahezu ausschließlich die organische Substanz im Glühverlust erfasst wurde.

Berglund (1995a,b; 1996a,b,c) und Berglund und Persson (1996) verglichen die Bodenentwicklung sowie die chemischen und physikalischen Eigenschaften von vier Böden aus oberflächennah anstehender Mudde unterschiedlicher Entstehung, Muddeart und Nutzung in Schweden.

Als wesentliche Kennwerte und Unterscheidungskriterien von allen anderen Böden geben Berglund und Persson (1996) an:

- den Gehalt an organischer Bodensubstanz im Unterboden mit > 1 Masse-%
- eine Trockenrohdichte von $< 1,1 \text{ g cm}^{-3}$ und
- ein Gesamtporenvolumen von $> 60 \%$

Der von ihr als Gyttja-Gehalt bezeichnete organische Anteil beträgt zwischen 1 und > 30 Masse-%. Sie benennt die Substrate folgendermaßen: gyttja (> 30 Masse-% organische Bodensubstanz), clay gyttja (6-30 Masse-% organische Bodensubstanz), gyttja clay (1-6 Masse-% organische Bodensubstanz), calcareous gyttja. Einige Profile weisen einen hohen organogenen Silikatanteil, der von Diatomeen und Diatomeenbruchstücken herrührt, auf. Nahe der Ostsee gelegene und zum Teil marine Ablagerungen, die durch postglaziale Landhebung aus dem Überflutungsbereich des Meeres kamen, weisen hohe Gehalte an

Pyrit auf. Infolge von Luftzutritt kam es durch Pyritverwitterung zu hoher Bodenacidität und damit verbunden zu hohen Aluminiumgehalten im Unterboden. Ebenso wie andere Autoren (s.o.) beobachtete auch Berglund (1995a) bei allen Profilen eine entwässerungsbedingte Ausbildung von Bodenhorizonten. Berglund und Persson (1996) weist mit ihren Untersuchungen die Auswirkung der Entwässerung auf die physikalischen Bodenkennwerte nach und stellt eine bei allen untersuchten Böden irreversible Schrumpfung fest. In Folge dieser bilden sich Klüfte, die sich nicht mehr schließen und die sehr große gesättigte Wasserleitfähigkeit verursachen. Schnelle initiale Entwässerung und ein hoher Gehalt an organischer Bodensubstanz führte dabei zu einem stärker ausgeprägten Kluftsystem als langsame Entwässerung und ein geringer Anteil an organischer Bodensubstanz. Die laborativ gemessenen Luftkapazitäten sind äußerst gering mit 0,5-7,5 Vol.-%, dagegen sind die im Gelände gemessenen Luftkapazitäten deutlich höher mit 4,6-45,4 Vol.-%. Insgesamt werden die Gytjaböden als nährstoffreich bezeichnet, was sich in einer großen potenziellen Kationenaustauschkapazität zeigt, mit 16-53 mmol pro 100 g Boden. Berglund (1996c) gibt für Böden aus Detritusmudden in Schweden pH-Werte zwischen 4,0 und 5,5 an. Darüber hinaus beschreibt sie Prozesse der Versauerung der Böden aufgrund eines hohen Schwefelgehaltes: Sulfid wird durch den Zutritt von Luftsauerstoff in Sulfat umgewandelt, woraus bei der Lösung durch Wasser Schwefelsäure entsteht.

Untersuchungen zu Nassbaggergut in Mecklenburg-Vorpommern (Seemann et al., 1999) ergaben einen hohen Anteil der Ton- und Schlufffraktion und Organikanteil in den limnischen Sedimenten. So betrug der Gehalt an Ton und Schluff im Mittel rund 50 Masse-%, davon meist < 30 Masse-% Ton. Der organische Anteil lag im Mittel bei 25 Masse-% und damit hoch im Vergleich zu den mineralischen Mudden, die in der vorliegenden Arbeit untersucht wurden. Im Mittel wiesen die oberen 10 cm der untersuchten Seensedimente einen Wassergehalt von ca. 85-90 % auf. Für die Seen in Mecklenburg-Vorpommern lagen die Makronährstoffe im Mittel für Gesamtstickstoff bei rund 12 g kg⁻¹ und für Gesamt-Phosphat-Phosphor bei rund 1,25 g kg⁻¹ (Sandrock und Scharf, 1994; Nowak, 1997; Dannenberger, 1999). Die überwiegende Mehrheit der stehenden Gewässer wies in ihren Sedimenten keine oder nur geringfügige Schwermetallkontaminationen auf (Manthey, 1998). Aquatische Sedimente in situ enthielten durch unterschiedliche Genese ca. 1 bis 1,5 % Schwefel z.B. als Sulfide oder als Sulfate (Seemann et al., 1999). Nach Janzen et al. (1994) wird insbesondere zu Beginn der Schlickreifung viel Sulfid durch Oxidationsprozesse zu Sulfat umgesetzt.

2.3 Klassifikationen als Grundlage der bodenkundlichen Geländeaufnahmen

2.3.1 Substrate

Im internationalen Sprachgebrauch wird eine Reihe von Begriffen für Seesedimente, je nach Genese und Entstehungsraum, Textur oder Morphologie verwendet: Gytja in Schweden, Finnland und Polen (Kivinen, 1938a; Berglund, 1995a; Ilnicki, 2002), Sapropel und Peloid in Russland (Bogatov, 1985), *freshwater oder marine claysoil* (Kim et al., 1993), *limnic material* in der kanadischen und der US Soil Taxonomy (Golden, 2003) sowie als Vorschlag auch in der World Reference Base of Soil Resources (FAO, 2001).

Der Begriff Mudde wird im deutschen Sprachraum sowohl für limnische Sedimente *in statu nascendi*, als auch für fossile Sedimente in Seen und Mooren verwendet (vgl. Succow, 1988; Stegmann und Zeitz, 2001; Lüttig, 1996; Grosse-Brauckmann, 1961; Naumann, 1930). Mudde ist damit der Oberbegriff für die in stehenden und langsam fließenden Gewässern sowie in Brackwasser entstehenden Sedimente mit einem Mindestgehalt an organischer Substanz von 5 Masse-% (Menke, 1989).

Begriffe können unterschiedliche Bedeutungen besitzen, wie z.B. der Begriff Sapropel (Naumann, 1929; Lüttig, 1996). Im deutschen Sprachraum wurden sowohl organische Sedimente, die unter anaeroben Bedingungen zur Ablagerung kamen als auch alle Mudden an sich und deren Vorstadien als Sapropel bezeichnet (Naumann, 1929 über die Verwendung des Sapropel-Begriffs bei Lauterborn, 1915 und Potonié, 1908). In Russland findet der Terminus ebenfalls für alle limnischen Sedimente Anwendung (Lüttig, 1996). Der englische Terminus *mud* wird meist für marine Ablagerungen und für Sedimente mit einem Anteil an organischer Substanz < 20 Masse-% (Collins, 2001; Kim, 1993) verwendet. In den Ingenieurwissenschaften werden als Schlamm fein- und feinstkörnige, meist tonige Sedimente mit hohen Anteilen an Nährstoffen, Karbonaten und organischer Substanz in Süßwasserseen bezeichnet (Seemann et al., 1999). Schlick ist das analoge Substrat mariner und brackwasserbürtiger Herkunft (ebenda).

C.A. Weber (1907, S. 21) führt den Begriff Mudde ein: "Es sind jene zerteiltpflanzigen, limnischen Torfarten,

die man bei uns als Mudden (sing. die Mudde), bei den Skandinaviern als Gytja und Dy bezeichnet, und deren besondere Formen Lebermudde (Lebertorf), Torfmudde, Kalkmudde, Tonmudde, Schneckenmudde usw. heißen." Sowie in C.A. Weber (1908, S. 85): „Mudden sind unter Wasser entstandene Torfarten, in denen die Reste größerer Pflanzen von Wassertieren vollständig zerbissen und zerkleinert, reichlich und oft überwiegend mit dem Kote dieser Tiere sowie mit den Mikroorganismen des Wassers vermengt zur Ablagerung gekommen sind, meist mit staubfeinem Sand oder Ton vermischt."

Inhaltlich ähnlich verwendete Begriffe sind: lakustrine Sedimente, limnische Ablagerungen, Ruhewasserablagerungen, Seeverlandungsmaterial, Stillwasserablagerungen, subhydriche Ablagerungen (ebenda). Durch Seeverlandung unter Lufteinfluss geratene Kalkmudden werden von Geologen manchmal als palustrine Kalksteine bezeichnet (Freytet und Verrecchia, 2002). Je nach Chemismus der Sedimente, Herkunft sowie Zersetzungsgrad der organischen Komponenten, weisen Sedimente unterschiedliche Nährstoffgehalte auf. Häufig von verschiedenen Wissenschaften ähnlich gebrauchte Begriffe sind Dy, Gytja, Sapropel, Schlämme, Schlicke, Schluff.

Dy (Braunschlamm) ist eine huminsäurereiche, daher dunkelbraune Gewässerablagerung. Sie entsteht durch den Zustrom von huminstoffreichen Wässern, aus denen die Humuskolloide beim Zusammentreffen mit gelösten Salzen gallertartig ausflocken. Dy ist in der Regel nährstoffarm, besitzt niedrige pH-Werte und ist, auf Grund der geringen mikrobiologischen Aktivität, schlecht durchlüftet. (Hansen, 1959; Stegmann et al., 2002; Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005).

Der Begriff Gytja wird in einigen Klassifikationen ausschließlich für die organischen Bestandteile der limnischen Sedimente verwendet. So spricht z.B. Berglund (1996c) von Gytja-Gehalt und bezeichnet damit den organischen Anteil in den von ihr untersuchten Mudden in Schweden. Dean (1981, zitiert in Schnurrenberger et al., 2003) definiert Gytja als ein Sediment mit mehr als 20 Masse-% amorpher organischer Substanz. In der deutschen Bodensystematik findet der Begriff Anwendung für organische Sedimente, die in nährstoffreichen, gut durchlüfteten Gewässern entstehen (Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005; Stegmann et al., 2001).

Sapropel (Faulschlamm) entsteht in nährstoffreichen Gewässern unter anaeroben Bedingungen durch Fäulnisbakterien. Dabei beziehen chemoautotroph lebende Bakterien Energie aus der anaeroben Zersetzung von Proteinen unter Bildung von Schwefelsulfid (H_2S) und Methan. Schwefelsulfid verursacht schon in extrem geringen Mengen den typischen Geruch von faulen Eiern.

Troels-Smith (1955) entwickelte ein umfassendes Klassifikationsschema für die Sedimente der Seen der temperaten Klimazone. Dabei lag sein Schwerpunkt auf der Beschreibung der lithologischen Bestandteile mit den Obergruppen silikatreich, karbonatisch, organisch und einer weiteren Unterteilung nach den geringer vorhandenen Bestandteilen. Nachteile seines Systems sind die zu große Detailliertheit und die Verwendung von lateinischen Begriffen (z.B. *Argilla steatodes* für Ton).

Verschiedene Autoren griffen das System jedoch weiterhin auf (Birks and Birks, 1980; Faegri and Iversen, 1964).

Mit dem Gliederungsvorschlag für limnische Sedimente von Merkt et al. (1971) liegt eine sich in einigen Kriterien an Potonié (1908) anlehnde, jedoch auf genetische Kriterien verzichtende Klassifikation vor. Laut Merkt et al. (1971, S. 608) sind „einige der in den letzten 5 Jahrzehnten vorgenommenen Versuche, die limnischen Sedimente zu gliedern, praktisch daran gescheitert, dass sie in ihren Definitionen zu anspruchsvoll (aufwendige Labormethoden) oder die gewählten Termini für die Anwendung im Gelände zu stark mit genetischen Vorstellungen verknüpft wurden. Die im speziellen Fall unzureichende Kenntnis der Genese der limnischen Sedimente und die dadurch ständig erforderlichen Ausweitungen, Einengungen und Verschiebungen der Definitionsinhalte für die Termini sind u.a. die Ursache für das Chaos in der Terminologie der limnischen Sedimente“.

Dementsprechend wurde konsequent der Begriff Mudde, statt wie bisher, Gytja verwendet. Beide Begriffe sind im deutschen Sprachraum gleichwertig und fanden, sich z.T. überschneidend, nebeneinander Verwendung, ohne je klar gegeneinander abgegrenzt worden zu sein. Außerdem wurde laut Merkt et al. (1971) Gytja seit längerer Zeit auch für die Benennung von marinen Sedimenten gebraucht. Der Begriff Mudde bot sich schon deshalb für die Übernahme in ein System limnischer Sedimente an, weil dieser Begriff bisher allein im Sinne von unter Süßwasserbedeckung gebildet verwendet wurde (vgl. Grosse-Brauckmann 1961: Begriff Mudde bei C.A. Weber). Die Bezeichnung Dy wurde in diesem Gliederungsschema ebenfalls nicht mehr verwendet. Dem petrographischen Gliederungsschema entsprechend wurden drei große Gruppen nach den drei sedimentologisch wichtigen Kriterien

- Anteil an organischer Substanz,
- Anteil an Kalziumkarbonat und
- Anteil an Silikat

gebildet und Aussagen bzw. Kriterien zur Genese vollständig weggelassen. Auch für die weitere Untergliederung, sowohl der mineralischen als auch der organischen Mudden wurden eindeutige Kriterien, wie die Größe der Bestandteile verwendet. So wurden z.B. die vorwiegend organischen Sedimente ähnlich wie bei Potonié (1908) bei Merkt et al. (1971) in Limnopelohumit (organische Reste < 0,6 mm), Limnopsammohumit (0,6-12 mm) und Limnopsephumit (> 12 mm) unterteilt. Die praktische Anwendung wurde dadurch erschwert, dass mehrere Hierarchiestufen verwendet wurden. Allerdings bot dies die Möglichkeit, je nach Fragestellung eine mehr oder weniger detaillierte Substratbeschreibung zu erstellen. Vorstellbar ist z.B. die Verwendung bei der Einschätzung von hydraulischen Eigenschaften. Sehr praktisch an diesem Vorschlag ist die Zweigliederung für jede Sedimentart in Gelände- und Laborbeschreibung. Die Geländebeschreibung basiert dabei auf organoleptischen Merkmalen, während für die Laborbeschreibung meistens diagnostische Werte angegeben sind.

Overbeck stellte 1975 eine Muddeklassifikation vor, in der drei Obergruppen gebildet werden. Er gab allerdings keine Grenzwerte für den Anteil an organischer Substanz bzw. Kalziumkarbonat an:

- a. Sedimente mit makroskopisch erkennbaren anorganischem, meist karbonatfreiem Material
- b. Sedimente mit größerem oder geringerem Kalkgehalt
- c. Sedimente, in denen der Ton-, Kalk- oder Eisengehalt gegenüber der organischen Substanz weitgehend zurücktritt

Während bisherige Klassifikationen versuchten, limnische Bildungen von vornherein zu einer Gruppe zusammenzufassen, gliederte Succow (1988) alle Moorsubstrate auf oberster Niveaustufe in die drei Substratgruppen Torf, Modd und Kalziumkarbonat und stützte sich dabei auf die anteilige Zusammensetzung von organischer, karbonatischer und silikatischer Komponente. Diese Gliederung wurde notwendig, da die alleinige genetische Typisierung der sedimentären und sedimentären Ablagerungen nach Torf- und Muddearten vielfach keine spezifischen Aussagen zur stofflichen Beschaffenheit zuließ. Der Begriff „Modd“ wurde zur Abgrenzung zum sedimentologisch-genetisch festgelegten Begriff Mudde für die stoffliche Kennzeichnung sedimentärer Substrate in Anlehnung an Kopp et al. (1969) verwendet. Modd wurde für sämtliche organogenen (> 30 % organischer Anteil), nicht eindeutig torfigen Bildungen, unabhängig von ihrer Genese, gewählt. Entsprechend ihrem Gehalt an organischer Substanz in zwei Stufen mit der Grenze von 70 % organischer Substanz sowie den pH-Verhältnissen mit drei pH-Stufen (sauer, subneutral, neutral bis basisch) bzw. Kalkgehalt mit drei Stufen (< 30 %, 30-70 % und > 70 %) wurden die Moddsubstrate weiter untergliedert. Weil der größte Teil der von Succow untersuchten Moddsubstrate (im Rahmen der Geländeansprache den Sand-, Ton- und Schluffmudden oder auch Feindetritus- bzw. teilweise sogar Grobdetritusmudden zugeordnet) einen Anteil von organischer Substanz unter 30 Masse-% aufwies, ergab sich die Notwendigkeit neue Begriffe zu prägen. Succow verwendete die Substratbegriffe Fledd und Quebb, bei denen bei Bedarf nach den Hauptkörnungsarten unterschieden werden kann, z.B. Sand-Fledd, Ton-Ankalkfledd, Schluff-Quebb usw. Der Begriff Fledd fand zum ersten Mal bei Schulze (1981) Anwendung. Der Begriff Quebb wurde bereits 1969 von Kopp eingeführt.

Menke (1989) legte ein Definitionsschema auf geogenetischer Basis für die quartären Lockergesteine vor. Dieses ergänzte den Gliederungsvorschlag von Merkt et al. (1971) um Aussagen zur Genese und verwendete andere Prinzipien sowie eine einfachere Systematisierung. Darin stellten die Seeablagerungen eine separate Gruppe dar und wurden unterteilt in zwei Hauptgruppen (siehe Abbildung 2). Die Unterscheidung zwischen den beiden Hauptgruppen wurde verbal vorgenommen, d.h. es wurde kein Grenzwert beim Anteil der organischen Substanz genannt. Bezüglich des Kalkgehaltes wurden die Kalkmudden gegenüber den Seekreiden sowie den Leber- und Detritusmudden abgegrenzt. Kalkmudden besitzen danach einen Kalkgehalt von 20-90 Masse-%, Seekreiden mehr als 90 Masse-% und Leber- und Detritusmudden weniger als 20 Masse-%. Praktisch ist die Beschreibung jeder Gruppe nach demselben Prinzip mit den Kriterien: Zusammensetzung/Merkmale, Entstehung, Abgrenzung gegen Nachbarbegriffe, Anmerkungen, Unterbegriffe und Synonyme.

Schnurrenberger et al. (2003) entwickeln ein System zur detaillierten Beschreibung von Sedimentkernen und verwenden dabei folgende Kriterien, deren Reihung zugleich die Bedeutung für die Beschreibung herausstellt: 1. Farbe, 2. Lagerungsart, 3. Lithologie der Hauptkomponente, 4. Textur, 5. Beimengungen.

Für die Bodenkundliche Kartieranleitung (2005) wurde das Gliederungsschema von Merkt et al. (1971) verwendet und vereinfacht, indem z.B. die Größendifferenzierung für die organischen Bestandteile entfällt und in der Beschreibung der Sedimente diagnostische und genetische Kriterien kombiniert werden. Der Grenzwert von 30 Masse-% Mindestgehalt an organischer Substanz für die organischen Mudden stellt somit ein diagnostisches Kriterium dar. Der Mindestanteil an organischer Substanz für die Ansprache als Mudde liegt bei 5 Masse-%. Für die Klassifikation der Mudden stehen zwei Hierarchieebenen zur Verfügung, wobei auf der obersten Stufe die Grenze zwischen organischen und organo-mineralischen Formen petrographisch festgelegt (siehe Tabelle 6).

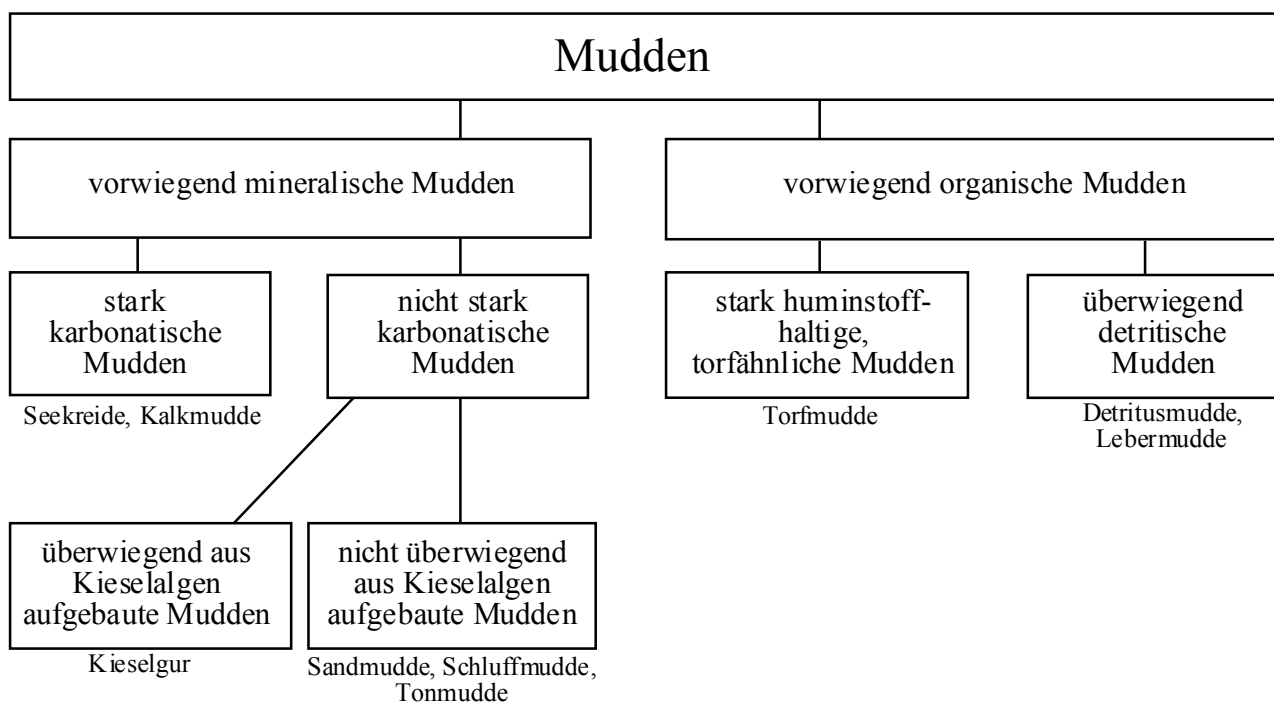


Abbildung 2: Gliederungsschema für Mudden nach Menke (1989)

Auf der darauf folgenden Hierarchiestufe kommen verschiedene Klassifikationsprinzipien zur Anwendung: Genese (z.B. Torfmudde), organoleptische Beschreibungen (z.B. Lebermudde), petrographische Zusammensetzung (z.B. Detritus-, Diatomeen- und Kalkmudde) sowie Partikelgröße (z.B. Sand-, Schluff- und Tonmudde). Diese Hierarchieebene verfügt nicht über diagnostische Merkmale, sondern nur über qualitative. Die organischen Mudden werden nach der Zerteilungs- bzw. Partikelgröße sowie biologischen Inhaltsstoffen unterteilt in Leber-, Detritus- und Torfmudde.

Tabelle 6: Klassifikation der Muddearten nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005)

Form	Untergruppe	Symbol	Merkmal
Organisch	Lebermudde	Fhl	> 30 Masse-% organische Substanz
	Detritusmudde	Fhg	
	Torf mudde	Fhh	
Organisch-mineralisch	Sandmudde	Fms	5–30 Masse-% organische Substanz
	Schluffmudde	Fmu	
	Tonmudde	Fmt	
	Diatomeenmudde	Fmi	
	Kalkmudde	Fmk	Kalkgehalt

Die Sapropelle werden nicht als eigene Klasse bei den Mudden eingeordnet, sondern bilden eine subhydrische Humusform sowie einen subhydrischen Bodentyp. Die organo-mineralischen Mudden unterscheidet man anhand der Korngrößenzusammensetzung nach Sand-, Schluff- und Tonmudde, anhand des Kalkgehaltes in Kalkmudde sowie nach dem Vorhandensein von Diatomeen in Diatomeenmudde. Die Kalkmudden bilden keine eigene Gruppe, sondern werden der organo-mineralischen Form zugewiesen, wobei kein Mindestgehalt an Kalziumkarbonat definiert ist.

Das in der Kartieranleitung verwendete Klassifikationsprinzip ist dem der in der DDR verwendeten TGL (1985) ähnlich, die allerdings im Unterschied zur KA4 die in mit Nährstoffen belasteten Gewässern entstehende Faulmudde einbezieht und auch für die Kalk- und Organomudden die Partikelgröße als Klassifikationskriterium verwendet.

In Schweden wird für die Klassifikation der organischen Böden das *Swedish geotechnical classification system* (Karlsson and Hansbo, 1981; Larsson, 1990) angewandt. Darin werden anhand des Gewichtsanteils an organischer Substanz < 2 mm drei Gruppen ausgewiesen: mit 2-6 Masse-% die schwachorganischen Böden (Gyttja führender Ton, Dy führender Schluff und humoser Sand), mit 6-20 Masse-% die mittelorganischen Böden (tonige Gyttja, schluffiger Dy, stark humoser Sand) und mit > 20 Masse-% die starkorganischen Böden (Gyttja, Dy, Torf, stark humoser Oberboden).

Während in der deutschen Substratsystematik ein diagnostischer Grenzwert für die Unterteilung zwischen mineralischen und organischen Muddearten besteht, wird in der WRB und der US Soil Taxonomy der Grenzwert für die Histosols nach dem Gehalt an OBS und Ton festgelegt. Bei höherem Tongehalt kann der Gehalt an OBS entsprechend geringer sein, um als Histosol eingeordnet zu werden. Dahinter steht das Prinzip eines Grenzwertes der potenziellen Kationenaustauschkapazität, die sich ja aus der Summe der Kationenaustauschkapazität von Ton und organischer Bodensubstanz zusammensetzt.

In verschiedenen Klassifikationen wird u.a. nach der Größe der organischen Bestandteile untergliedert. Dies ist ein geeigneter Ansatz, um bodenphysikalisch bedeutsame Substrateigenschaften schon infolge der auf Geländemerkmale basierenden Substratbeschreibung ableiten zu können. So unterteilt Markowski (1980, zitiert in Ilnicki, 2002) die organischen Mudden in drei Typen: Algenmudde, Grob- und Feindetritusmudde. Die beiden letztgenannten unterscheidet er nach dem Gehalt an organischer Substanz und nach der Größe der makroskopisch erkennbaren Reste (> 1 mm oder 0,1–1,0 mm) sowie dem Anteil an überwiegend strukturlosen Bestandteile.

Auch in der World Reference Base of Soil Resources (FAO, 2001) und der US Soil Taxonomy (Golden, 2003) werden die organischen Substrate nach dem Grad der Zersetzung der organischen Substanz unterteilt in *fibric* (lat. *fibra*, faserig), *hemic* (lat. *hemi*, halb) und *sapric* (lat. *sapros*, verrottet). Ein vergleichbares Prinzip existiert dagegen in der Deutschen Bodenkundlichen Systematik nicht. Allerdings werden im moorkundlichen Forschungsbereich oft die, aus älteren Klassifikationen übernommenen, Begriffe Fein- und Grobdetritusmudde verwendet.

2.3.2 Subhydrische Böden und Böden aus Mudde

Subhydrische Böden entstehen syngenetisch mit der Akkumulation des Ausgangsmaterials – der Mudde. Sie entstehen an der Grenze zwischen Wasser und Sediment und bilden die oberste belebte Sedimentschicht. In der vorliegenden Arbeit werden Böden am Grund existierender Gewässer, deren Substrat in Bildung begriffene Mudden sind, in Anlehnung an die Bodenkundliche Kartieranleitung (2005), als Unterwasserböden oder subhydrische Böden bezeichnet. Die Böden, die sich nach der Entwässerung von Seen aus Mudden bilden, werden als Muddeböden (in Anlehnung an den polnischen Terminus *Gytiawiska*) bzw. Reliktmuddeböden bezeichnet. Hinsichtlich der Benennung und Klassifizierung von Reliktmuddeböden ist die deutsche Bodenklassifikation bisher unzureichend: Böden aus organischen Mudden werden den Mooren zugeordnet, Böden aus organo-mineralischen Mudden meist den entsprechenden terrestrischen und semiterrestrischen Klassen (vgl. Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005).

Um die Unterwasserböden zu unterteilen, wurden in der deutschen Bodensystematik (vgl. Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005) vier, vor allem petrographisch definierte, Bodentypen definiert: Protopedon, Gyttja, Sapropel und Dy (Roeschmann et al., 1993; Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005). Bei der Verwendung dieser Begriffe ist zu beachten, dass sie pedogenetisch, also im Sinne eines Bodentyps, und nicht geogenetisch definiert sind. Dies ist von Bedeutung, weil dieselben Begriffe im internationalen Sprachraum für limnische Sedimente verwendet werden. Das heißt, außer den Merkmalen des Ausgangsmaterials, wie z.B. Kalkgehalt, Anteil an organischer Substanz, fließen pedogene Merkmale, wie z.B. Durchlüftung, Abnahme des Humusgehalt mit der Tiefe, Belebtheit in die Kennzeichnung der Horizonte ein. Allerdings existieren bisher nur Definitionen für die Oberbodenhorizonte, d.h. die Bodentypen sind über einen Horizont und nicht durch eine Horizontabfolge definiert. Bislang wurden für die deutsche Bodenkundliche Kartieranleitung keine Subtypen definiert (vgl. Bodenkundliche Kartieranleitung, 2005).

2.3.3 Böden aus Mudde

In der deutschen Bodensystematik sind Böden aus Mudde bisher nicht explizit als Bodentypen definiert. Es

existieren bisher auch keine Horizontausweisungen. Gegenwärtig behilft man sich mit der Nutzung der existenten Bodentypen indem diesen weitere Merkmale zugeordnet werden: im Falle von Böden aus organo-mineralischen Mudden wird das Vorzeichen „f“ - fossil verwendet. Damit werden Böden aus rezenten subhydrischen Mudden (Klasse der Subhydrischen Böden) von denen aus fossilen Mudden gekennzeichnet. Meist werden Böden aus fossilen organo-mineralischen Mudden als semiterrestrische Böden (Gleye) angesprochen. Für Böden aus organischen Mudden ist die Kennzeichnung nach der Abteilung „Moore“ vorgesehen. Allerdings ist nicht ganz klar, wie dies erfolgt, da sich die Horizonte, die in pedogen veränderten organischen Mudden entstehen, deutlich von den Torfhorizonten unterscheiden.

Die polnische Bodensystematik (Polish System of Soil Classification, 1989) unterteilt auf der ersten Hierarchiestufe sieben Abteilungen. Das geologische Ausgangssubstrat determiniert die lithogenen Böden (I), die Intensität der Humusbildung die autogenen Böden (II), das hydrologische Regime die semihydrischen Böden (III), Wasserbedeckung und Vegetationsgesellschaften die hydrischen Böden (IV), der Sedimenteintrag die Alluvialböden (V), das Vorhandensein von Salzen die Salzböden (VI) sowie die Intensität der anthropogenen Veränderung die anthropogenen Böden (VII). Alle Böden aus Mudden sind zusammen mit den Torfböden in der Abteilung IV eingeordnet. Hier wird wiederum unterschieden nach dem Grad der Natürlichkeit bzw. pedogenen Veränderung in (eigene Übersetzung in Anlehnung an die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 2005, verwendeten Begriffe) in Natürliche Moore und Erdmoore. Innerhalb dieser Kategorien wird wiederum jeweils nach Mudden und Torf unterschieden. Der Vorteil dieser Systematik liegt darin, dass sich die landschaftsökologische Ähnlichkeit und genetische Nähe der Böden aus Mudden und Torf auch in der Klassifikation widerspiegelt und Übergangstypen gut gekennzeichnet werden können.

In der World Reference Base of Soil Resources (WRB) (FAO, 1998) sind Bodentypen nach im Gelände identifizierbaren oder im Labor messbaren Merkmalen definiert. Damit sind diese diagnostisch, d.h. quantifizierbar. Die Referenzbodentypen werden abgeleitet aus einem oder mehreren diagnostischen Bodenhorizonten. Diagnostische Bodenhorizonte sind gekennzeichnet durch eine oder mehrere quantifizierbare Bodeneigenschaften. Kombiniert werden können die Referenzbodentypen mit weiteren diagnostischen Bodeneigenschaften, wie z.B. Grund- oder Stauwassereinfluss und Humosität. Die Ansprache von diagnostischen Bodenmaterialien führt darüber hinaus zu Informationen bezüglich des Ausgangsmaterials. Aus Mudden entstehende Böden entsprechen den Referenzbodentypen Fluvisols, Histosols und Gleysols.

In der demnächst erscheinenden zweiten Auflage der WRB wird das Ausgangsmaterial subhydrischer Böden (*limnic soil material*) systematisiert (O. Spaargaren, mündl. Mitt.).

Danach umfassen die limnischen Bodensubstrate sowohl organische als auch anorganische Bestandteile, die:

1. im Wasser abgelagert wurden, durch Fällung oder Tätigkeit von aquatischen Organismen, wie z.B. Algen oder Diatomeen entstanden sind oder
2. aus den durch aquatische Tiere abgebauten Resten aquatischer Makrophyten entstanden sind.

Es werden drei im Feld identifizierbare Typen (*material*) vorgestellt: *Coprogenous earth* bzw. *sedimentary peat*, *diatomous earth* und *marl*.

Diese Klassifikation der Substrate ist eng an die US Soil Taxonomy (Golden et al., 2003) und an das Kanadische System (Soil Classification Working Group, 1998) angelehnt. Hier wird ebenfalls nach diesen drei Typen unterteilt, die als *Layer* bezeichnet werden und in einer komplexen Systematik der organischen Böden (*organic soils*) Verwendung finden (ebenda).

Nach der US Soil Taxonomy handelt es sich bei den Muddenböden in Abhängigkeit vom Fasergehalt um *Limnic Haplofibrists*, *Limnic Haplohemists* und *Limnic Haplosaprists* als Untergruppe der *Histosols* (Collins et al., 2001).

In der schwedischen Klassifikation gehören die *Gyttjaböden* in die Klasse der allochthonen limnischen Böden. Dabei werden jedoch neben lakustrinen auch fluviale, marine und brackische Sedimente zu den Gytjen gezählt (Fredriksson, 1953, zitiert in Berglund, 1996c). Unter Gytjaböden fasst Berglund (1996c) folgende Klassen zusammen: *gyttja* mit > 30 Masse-% organische Bodensubstanz, *clay gyttja* mit 6-30 Masse-% organische Bodensubstanz, *gyttja clay* mit 1-6 Masse-% organische Bodensubstanz, *calcareous gyttja*.

3 Untersuchungsflächen, Material und Methoden

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden 60 Bodenprofile auf 12 Untersuchungsflächen (siehe Abbildung 3 und Tabelle 7) angelegt. Die Anlage der Bodenprofile erfolgte in Anlehnung an die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) festgelegten Art und Weise.

Zusätzlich zu den Bodenprofilen wurden 30 Moorbohrungen in den Bundesländern Brandenburg und Sachsen durchgeführt, aus denen Kenntnisse der morphologischen Merkmale von Mudden erlangt wurden, auf die an einigen Stellen der vorliegenden Arbeit verwiesen wird.

Von verschiedenen Landesämtern wurden im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme erhobene Profil- und Labordaten zur Verfügung gestellt.

Im Folgenden werden die Untersuchungsflächen sowie deren naturräumliche Faktoren jeweils kurz beschrieben.

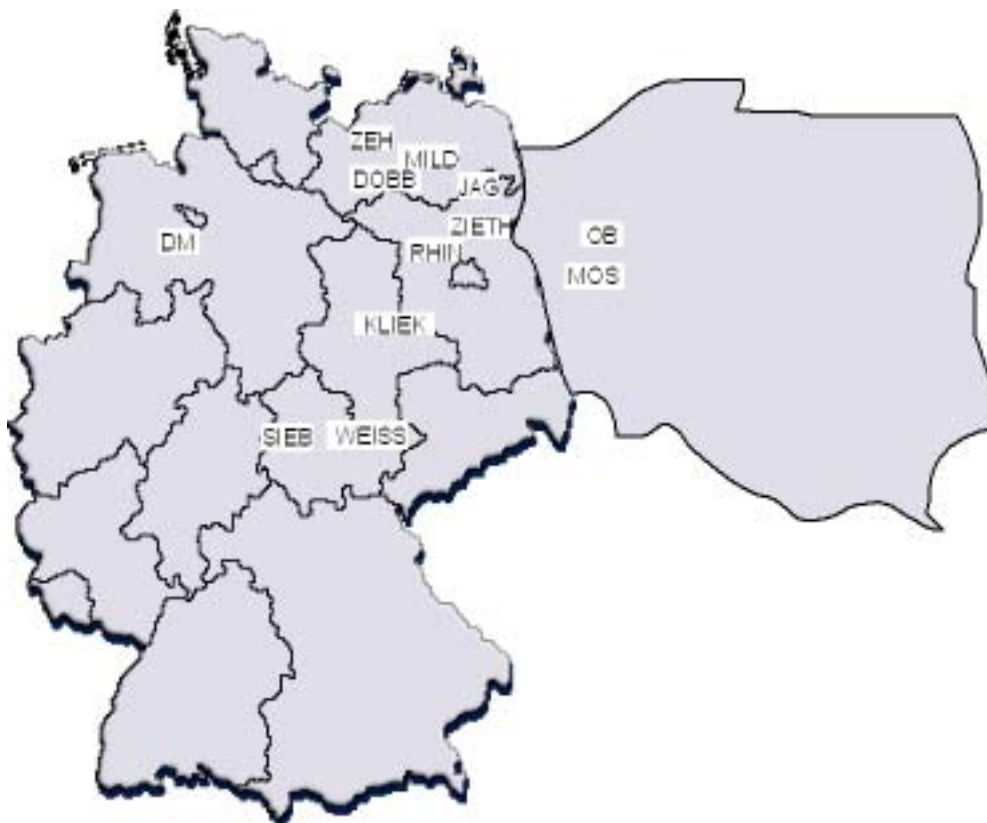


Abbildung 3: Lage der Untersuchungsgebiete (Abkürzungen nach Tabelle 7)

Tabelle 7: Untersuchungsgebiete

Bezeichnung	Fläche	Bundesland/ Land	Größe der untersuchten Fläche bzw. Teilfläche	Muddeart	Anzahl Profile
DM	Eickhöpen, Nordufer des Dümmersees	Niedersachsen	400 ha	Diatomeen-mudde	7
DOBB	Dobbiner/Klädener Plage	Mecklenburg-Vorpommern	206 ha 63 ha	Kalkmudde	10
JAG	Jagow	Brandenburg	450 ha	Kalkmudde	5
KLIK	Kliken	Sachsen-Anhalt	200 ha	Diatomeen-mudde	2

Bezeichnung	Fläche	Bundesland/ Land	Größe der untersuchten Fläche bzw. Teilfläche	Muddeart	Anzahl Profile
MILD	Mildenitzer Seebruch	Mecklenburg-Vorpommern	140 ha 71 ha	Detritusmudde	5
MOS	Mosinski Kanal	Polen (bei Poznan)	> 1000 ha 200 ha	Kalkmudde	3
OB	Objezierze	Polen (bei Poznan)	> 500 ha	Kalkmudde	5
RHIN	Rhinluch	Brandenburg	> 9000ha 25 ha	Kalkmudde	3
SIEB	Sieblebener Senke	Thüringen	> 500ha 100 ha	Schluff-, Kalkmudde	2
WEISS	Weissensee	Thüringen	250 ha	Sulfat-, Schluff-, Kalkmudde	4
ZEH	Zehlendorfer Moor	Mecklenburg-Vorpommern	100 ha	Kalkmudde	3
ZIETH	Ziethener Seebruch	Brandenburg	234 ha	Detritusmudde	14

3.1 Untersuchungsflächen

Dümmer

Im Text verwendete Bezeichnung: DM

Untersuchte Muddeart: Diatomeenmudden am Nordufer des Dümmer

Geologisch-geographischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet liegt am Nordufer des Dümmer im Bundesland Niedersachsen, etwa 100 km westlich von Hannover und 35 km nordwestlich von Osnabrück. Das unmittelbare Untersuchungsgebiet liegt südöstlich der Hunte, nördlich des Lembrucher Ortsteils Eickhöfen.

Die Umgebung des Dümmer gehört zum Naturraum Dümmerniederung am Südrand der Norddeutschen Tiefebene. Es ist weitgehend unbewaldet und geprägt durch eine offene Besiedlung, großflächige landwirtschaftliche Nutzung (Ackerbau und Grünland) und das Vorhandensein von großen Moorkomplexen.

Die Dümmerniederung liegt in einem in der Saaleeiszeit entstanden Grundmoränenbecken und wird im Nordwesten und Westen vom lang gestreckten Höhenzug der Dammer Berge (höchster Punkt Signalberg mit 145 m über NN) umrahmt, die als saaleiszeitliche Stauchmoräne entstanden. Der Stenweder Berg, der sich etwa 6 km mit 181 m südlich des Dümmer erhebt, besteht aus oberkretazischem Kalksandstein und ist bereits im Tertiär gehoben worden. Die nahe Umgebung des Dümmer ist fast eben, die untersuchte Fläche am Nordufer erhebt sich 37 bis 38 m über NN. Das gesamte Gebiet liegt damit nur wenig über dem mittleren Wasserspiegel des Dümmersees mit im Mittel 37,1 m über NN.

Der Dümmersee hat Phasen unterschiedlicher Wasserspiegellhöhe und flächenhaften Ausdehnung vollzogen. Mit Beginn des Holozäns stieg der Wasserspiegel klimatisch bedingt erheblich an. Der See erreichte seine größte Ausdehnung mit zeitweilig 150 km² Wasserfläche, während die heutige Fläche nur noch 16 km² beträgt (Dahms, 1972).

Bei den Diatomeenmudden am Dümmer handelt es sich um holozäne Akkumulationen aus dem Subatlantikum (Dahms, 1972; Pfaffenberg und Dienemann, 1962). Vorkommen holozäner Diatomeenmudden sind verglichen mit Ablagerungen älterer Interstadiale seltener und deutlich geringmächtiger, mit 30-60 cm Mächtigkeit am Dümmer (Majewski, 1961).

Diatomeenhaltige Ablagerungen, vor Ort umgangssprachlich Meergeil genannt, sind an vielen Stellen der

Dümmerniederung verbreitet. Die Diatomeenmudde bildet eine nahezu geschlossene Decke mit einer Mächtigkeit von 30 bis 60 cm. Die Zusammensetzung und der Gehalt an Diatomeen der Mudde wechseln stark. Sehr reine Diatomeenmudde, so genannte Kieselgur, kommt in nesterartiger Verteilung vor. Zur Entstehung der Diatomeenmudden siehe Maczey (2002).

Klima

Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt bei 8,9 °C mit dem Monat Juli als wärmsten Monat mit durchschnittlich 16,9 °C und dem Monat Januar mit durchschnittlich 0,9 °C (vgl. Tabelle 8). Die Jahresamplitude beträgt 17,8 K. Mit knapp 700 mm Jahresniederschlag weist das von allen Untersuchungsgebieten am westlichsten gelegene Untersuchungsgebiet am Dümmer die höchsten Niederschläge auf und liegt z.T. 200 mm über den anderen Untersuchungsgebieten. Darin zeigt sich deutlich der maritime Einfluss. Das Gebiet hat ein sommerliches Maximum in den Monaten Juni bis August und ein Sekundärmaximum im Winter im November und Dezember (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Dümmer

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	0,9	1,4	4,2	7,7	12,5	15,6	16,9	16,7	13,6	9,7	5,1	2,2	8,9
Niederschlag [mm]	59,7	41,9	52,5	48,7	60,2	70,7	64,8	63,7	51,1	52,8	61,5	67,8	695,3

Station Diepholz: 52°35' n.Br., 08°20' ö.L., 39 m über NN, Zeitraum 1961-90, (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

Der südwestliche Teil der untersuchten Fläche, zwischen Straße und rezentem See, ist Teil eines Naturschutzgebietes und wird nicht bewirtschaftet.

Die Flächen östlich der Alten Hunte werden ackerbaulich, mit Saatgrasland, Hafer- und Weizenanbau, genutzt.

Dobbiner und Klädener Plage

Im Text verwendete Bezeichnung: DOBB

Untersuchte Muddearten: Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Die Dobbiner und Klädener Plage, ursprünglich ein zusammenhängendes Gewässer, das im 18. Jahrhundert abgelassen wurde, befinden sich im Naturpark Nossentiner-Schwinzer Heide in der Landschaftszone des Mecklenburgischen Landrückens mit der namensgleichen Seenplatte (Rühberg et al., 1995). Diese wird im Süden von der Endmoräne der Frankfurter Staffel und im Norden von der Pommerschen Haupteisrandlage begrenzt (Hurtig, 1966; Brückner, 1961) und in mehrere Landschaftseinheiten untergliedert. Die Sanderflächen werden stellenweise von kleineren Endmoränenrücken durchragt und von Binnendünen überlagert. Das führt zu einem hügeligen Relief mit einer durchschnittlichen Höhenlage zwischen 40 und 80 m über NN.

Je nach der ehemaligen Entfernung vom Ufer bzw. vom Zufluss der Mildenitz schwankt der Kalkgehalt des Sediments. Im Nordteil der Dobbiner Plage, in welchem sich auch der ehemalige Kalkstich befindet, liegt dieser höher als im Süden, wo durch den Zufluss mehr Fremdmaterial eingespült wurde: in der Geologischen Oberflächenkarte 1:25000 werden die Ablagerungen im Norden als Wiesenkalk bezeichnet, im Süden dagegen als Faulschlammkalk.

In den Zentralen Bereichen der Klädener Plage wird die Kalkmudde von stark tonhaltiger Kalkmudde über Tonmudde unterlagert. Darunter liegt der Sandersand des Pommerschen Stadiums (Illner, 1958). In der Dobbiner Plage fand man keine Tonablagerungen, sondern stieß unter der Kalkmudde sofort auf die Sandersedimente bzw. im Süden auf pleistozäne Beckenschluffe (ebenda).

Klima

Die Schwinzer Sandhochfläche befindet sich im Bereich der stärker maritim beeinflussten Mecklenburger Makroklimaform (Kopp und Schwanecke, 1994). Der Mittelwert der Lufttemperatur beträgt 8,1 °C, mit der höchsten Monatsmitteltemperatur im Juli mit 16,8 °C und der niedrigsten im Januar mit -0,8 °C (vgl. Tabelle 9). Die Jahresamplitude beträgt 17,6 °C. Die mittleren Jahresniederschlagsmengen liegen zwischen 600 bis 660 mm, an der Station Goldberg beträgt das langjährige Mittel 566 mm (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Dobbiner und Klädener Plage

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-0,8	-0,1	2,7	6,8	12,0	15,5	16,8	16,6	13,2	9,1	4,2	0,9	8,1
Niederschlag [mm]	41,3	28,8	37,8	42,7	47,7	62,3	68,9	54,9	48,2	38,6	48,3	46,8	566,3

Station Goldberg: 53°36' n.Br., 12°06' ö.L., 58 m über NN, Zeitraum 1961-90, (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

Dobbiner und Klädener Plage waren ursprünglich ein zusammenhängendes Gewässer (Schmettau'sche Karte, 1794). Letztere war allerdings durch eine flache Schwelle von den tiefen Bereichen des Dobbiner Sees abgeteilt, so dass vermutlich ein eingeschränkter Wasseraustausch zwischen den beiden Teilen des Sees stattfand (Naturpark Nossentiner-Schwinzer Heide, 1999). Die Trockenlegung des Dobbiner Sees geschah in mehreren Schritten zwischen 1786 und 1824. So wurde Anfang des 19. Jahrhunderts, 1809 oder 1810, der Klädener See durch Grabung eines neuen Laufes für die Mildenitz abgelassen (Lisch, 1841). Man unterband also zuerst den Zufluss, später legte man zur Entwässerung einen Ringgraben um die Klädener Plage an. Die Mildenitz, welche ursprünglich den Dobbiner See durchfloss, wird seit dem vergangenen Jahrhundert als Kanal an der Dobbiner Plage vorbeigeleitet, ist allerdings immer noch deren Hauptvorfluter.

In Verbindung mit den Meliorationsarbeiten in den 70er Jahren der 20. Jahrhunderts wurde die gesamte Dobbiner Plage einmal umgebrochen und mit Futtergras besät. Seitdem führte die bewirtschaftende LPG keine weiteren Bewirtschaftungsmaßnahmen außer Mahd, Weide und Düngung durch (mündl. Mitteilung Hr. Sauer).

Den größten Teil des Naturschutzgebietes „Klädener Plage“ nehmen verschiedene Röhrichte ein. Die Randbereiche werden extensiv als Mahdgrünland genutzt.

Jagow

Im Text verwendete Bezeichnung: JAG

Untersuchte Muddearten: Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Die Untersuchungsfläche befindet sich im Rückland der Endmoräne der Ückerstaffel in einer parallel zum Ückerbecken verlaufenden Rinne (Bramer et al., 1991), die in Richtung Süden über an das Stromtal (südliche Verlängerung des Ückerbeckens) mit dem Bach „Der Strom“ Anschluss findet. Der Niederungsbereich um die Ortslagen Jagow und Taschenberg bildet dabei ein Teilbecken dieser Rinne.

Klima

Die Mittel der Lufttemperaturen entsprechen denen der Untersuchungsfläche Mildenitzer Seebruch (siehe dort). Die Jahresamplitude beträgt 18,1 K. Wegen der Lage der Untersuchungsfläche Jagow im Leebereich des Nördlichen Landrückens sind die mittleren Jahresniederschläge geringer als beim Mildenitzer Seebruch (Hendl, 1991). Im Mittel fallen 504 mm Niederschlag pro Jahr mit einem sommerlichen Maximum und einem winterlichen Minimum (vgl. Tabelle 10).

Tabelle 10: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Jagow

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-1,6	-0,8	2,2	6,5	11,7	15,1	16,5	16,3	12,7	8,4	3,6	0,1	7,6
Niederschlag [mm]	31,1	24,6	29,8	37,5	52,3	62,8	61,0	53,8	41,0	33,2	41,1	35,9	504,0

LT: Station Woldegk: 53°27' n.Br., 13°36' ö.L., 118 m über NN, Zeitraum 1961-90, NS: Station Prenzlau: 53°17' n.Br., 13°55' ö.L., 50 m über NN, Zeitraum 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

Die Umgebung wird ackerbaulich genutzt. Die Niederung selbst wurde Anfang der 90er Jahre umgebrochen, gepflügt und es wurde Mais angebaut.

Kliken

Im Text verwendete Bezeichnung: KLIEK

Untersuchte Muddearten: Diatomeenmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet Kliken ist ein Tagebau, in dem Kieselgur abgebaut wurde und kleinflächig aktuell noch abgebaut wird. Das Kieselgurlager Kliken liegt etwa 1,5 km östlich von Kliken zwischen Rossau und Coswig im Bundesland Sachsen-Anhalt. Nördlich des Gurvorkommens läuft der Südhang des Fläming aus, nach Süden schließen sich die Ablagerungen des Elbtales an. Östlich der Grube beginnt der steile Abhang zum Saareensee und zur Alten Elbe. Die Umgebung liegt durchschnittlich etwa bei 70 m über NN, die größte Erhebung unweit der heutigen Grube ist der Seeberg mit 77,8 m.

Das Kieselgurlager befindet sich in der Grenzlage einer saalekaltzeitlich entstandenen Stauchmoräne und den Niederungen der Elbe. In diesem von Nordwesten nach Südosten streichenden Becken existierte in der Holsteinwarmzeit ein See von etwa 1000 m Länge und 200 bis 300 m Breite (Knoth et al., 1969). Zum Anfang der Saalekaltzeit herrschte eine lokale Sedimentation von deluvialen und solifluidalen Ablagerungen vor (vgl. auch Maczey, 2002). Die Beckenablagerungen beginnen mit einer basalen Sandlage, gefolgt von bis zu 2 m mächtigen Seekreideablagerungen und Kalkmudde. Diese geht unter Abnahme des Karbonatgehaltes in die Kieselgur über. Im Beckeninneren erreicht die Kieselgur bis zu 17 m Mächtigkeit und ist stellenweise von Torf bedeckt. Sie ist damit wesentlich mächtiger als die holozäne Diatomeenmudde am Dümmersee. Den Abschluss bilden 6 bis 12 m mächtige saalezeitliche Sedimente, wie z.B. Grundmoränenrelikte und Schmelzwassersande (ebenda).

Die Kieselgur wird nach dem Gehalt an organischer Substanz, der Schüttdichte, der Farbe und nach ihrer Artenzusammensetzung in die so genannte schwere, mittlere und leichte Gur unterteilt (Rösler, 1951). Die leichte obere Gur ist durch Mineralisierung der organischen Substanz und durch geringere Gehalte an Wasser und Eisen heller und hat eine geringere Trockenrohdichte als die im Liegenden befindlichen mittlere und schwere Guren. Die Kennzeichnung bezieht sich somit auf sekundär durch Verwitterung entstandene Merkmale (ebenda).

Klima

Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt bei 9,0°C, mit sommerlichen Mittelwerten von rund 18 °C und winterlichen Werten von rund -0,3 °C (vgl. Tabelle 11). Sowohl der Mittelwert als auch die Maxima und Minima liegen etwas höher als in den anderen Untersuchungsgebieten. Die Jahresamplitude beträgt 18,3 K. Im Mittel fallen rund 500 mm Niederschlag pro Jahr mit einem sommerlichen Maximum in den Monaten Mai bis August und einem winterlichen Minimum im Januar bis Februar und einem Sekundärminimum im Herbst (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Klieken

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-0,3	0,7	4,1	8,4	13,4	16,7	18,0	17,6	14,0	9,6	4,5	1,1	9,0
Niederschlag [mm]	30,4	28,2	35,6	38,4	48,7	58,0	49,7	59,3	40,1	34,3	35,0	39,1	496,6

Station Koethen: 51°45' n.Br., 12°00' ö.L., 76 m über NN, Zeitraum:1961-90, (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

Das gesamte Gebiet ist bewaldet, hauptsächlich durch Kiefernwald, z.T auch von Mischwald.

Mildenitzer Seebruch

Im Text verwendete Bezeichnung: MILD

Untersuchte Muddearten: Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Das Gebiet befindet sich im Rückland des Goldenbaumer Bogens der Pommerschen Endmoräne, eingebettet in die Grundmoränenfläche (Bramer et al., 1991). In Richtung Westen an die Untersuchungsfläche schließen sich die Helpter Berge an, mit dem Helpter Berg mit 179 m NN als höchstem Punkt. Die Helpter Berge sind eine Fortsetzung der bei Feldberg beginnenden großen Endmoränengabel (ebenda). Das Mildenitzer Seebruch ist Teil eines von Nordosten in Richtung Südwesten verlaufenden glazialen Rinnensystems und dokumentiert den Abfluss aus jüngeren Eisrandlagen.

Im Mildenitzer Seebruch sind von der Basis bis zur Oberfläche nahezu durchweg Mudden ausgebildet. Basisnah treten kalkhaltige Tonmudden auf. Darüber liegen Detritusmudden. Die Detritusmudden sind im Durchschnitt 4–5 m mächtig und sind nur stellenweise von Torfen bedeckt (Standortgutachten Mildenitzer Seebruch). An einer Stelle wurde Laacher See Tephra erbohrt. Der Beginn der limnisch-telmatischen Sedimentation datiert somit in das Spätglazial.

Die nahe dem Weg gelegenen Teilflächen sind zur besseren Befahrbarkeit mit einer Sandlage versehen worden. Die Sande wurden im Laufe der Zeit in den Oberboden eingearbeitet.

Klima

Das Klima der Untersuchungsflächen Mildenitzer Seebruch und Jagow ist wegen ihrer räumlichen Nähe sehr ähnlich. Das langjährige Mittel der Lufttemperatur liegt bei 7,6 °C, mit sommerlichen Mittelwerten von rund 16 °C und winterlichen Werten von rund -2 °C (vgl. Tabelle 12). Die Jahresamplitude beträgt 18,1 K. Im Mittel fallen rund 570 mm Niederschlag pro Jahr, mit einem sommerlichen Maximum in den Monaten Juni bis August und einem winterlichen Minimum im Januar bis März (vgl. Tabelle 12).

Tabelle 12: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Mildenitz

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-1,6	-0,8	2,2	6,5	11,7	15,1	16,5	16,3	12,7	8,4	3,6	0,1	7,6
Niederschlag [mm]	39,8	28,6	39,9	40,2	57,0	64,3	59,6	60,7	44,8	37,4	50,7	49,4	572,4

Station Woldegk: 53°27' n.Br., 13°36' ö.L., 118 m über NN, Zeitraum:1961-90, (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

In östlicher Richtung wird das Mildenitzer Seebruch vom Ort Mildenitz begrenzt, in westlicher Richtung schließen sich auf der welligen Grundmoräne Ackerflächen an, die bis an den Mischwald der Helpter Berge heranreichen.

Das Seebruch ist von einem sehr engen Grabennetz durchzogen, wovon allerdings gegenwärtig nur noch die Hauptgräben instand gehalten werden, während die restlichen Gräben langsam zuwachsen.

Das Seebruch wurde bis 1989 als Intensivgrünland genutzt und ist jetzt ungenutzt. An gut begehbaren Stellen wird kleinflächig gemäht.

Objezierze und Mosinski Kanal

Im Text verwendete Bezeichnung: OB, MOS

Untersuchte Muddearten: Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Beide Untersuchungsflächen befinden sich in der Region Poznan, dem westlichen Teil des polnischen Flachlands. Dieses wird im Norden vom Torun-Eberswalder Urstromtal, im Süden von den Hügeln der Góry Kocie und der Łódźer Hochfläche, im Westen von den Nord-Süd verlaufenden Tälern der Nysa Łużycka und Oder sowie im Osten vom Tal der Vistula begrenzt (Ilnicki, 1995). Das Gelände fällt leicht in Richtung Norden und Westen analog dem Fließgewässersystem von Warthe, Notec und Oder ab. Die mittlere Geländehöhe liegt zwischen 75 und 100 m. Das Relief ist vom weichselzeitlichen Formenschatz mit Grundmoränen und nach Norden bzw. Nordwesten gerichteten ehemaligen Schmelzwasserrinnen geprägt. Die Untersuchungsflächen liegen südlich der Warta, die in einem ehemaligen Urstromtal fließt (östliche Fortsetzung des Berliner Urstromtales). Die unmittelbare Umgebung der beiden Untersuchungsflächen hat ein flach-welliges Relief (Ilnicki, 1995). Die gesamte Region ist sehr reich an Niedermooren, sehr großen Flächen in den ausgedehnten Niederungsgebieten und schmalen, tiefen Mooren in den subglaziär entstandenen Rinnen (ebenda). Bei den Seeablagerungen sind Kalkmudden am weitesten verbreitet, während Detritusmudden sehr viel seltener sind (ebenda).

Eine Fläche befindet sich nördlich von Poznan, im Tal der Samica, einer glazialen Abflussrinne, die in ca. 12 km Entfernung in die Warta mündet.

Die zweite Fläche befindet sich südwestlich von Poznan in einer von Kanälen und Gräben geprägten Niederung.

Klima

Das Gebiet befindet sich im Übergangsbereich zwischen subozeanischem und subkontinentalem Inlandklima, mit Mitteltemperaturen für den Abschnitt 1951-1980 von 7,5 °C und 8,4 °C (Woś, 1994). Die mittleren Niederschlagshöhen liegen zwischen 500 und 600 mm.

Nutzung

Die Böden sind dominiert von Parabraunerden in den Moränengebieten, assoziiert mit schwerpunktmäßig in den Niederungen verbreiteten Gleyen sowie Braunerden und podsolierten Parabraunerden in den Sander- und Talsandgebieten. Die Grundmoränenflächen sind vorwiegend ackerbaulich genutzt, auf den Endmoränenbereichen kommen Laubwälder und im Bereich der Sanderflächen Kiefernwälder vor. Die vermoorten Niederungen werden überwiegend als Grünland genutzt, seltener auch als Acker.

Die Fläche nördlich von Poznan dient der Gewinnung von Kalkmudde als Dünger für die landwirtschaftliche Produktion. Von Süd nach Nord voranschreitend wird die Kalkmudde abgebaggert, in den erschöpften Gruben entstehen Seeflächen.

Die zweite Fläche ist bezüglich der Substratabfolge anthropogen überprägt, so wurden im oberen halben Meter des Profils Reste von Ziegelsteinen und anderer Bauschutt und Hausmüll gefunden.

Rhinluch

Im Text verwendete Bezeichnung: RHIN

Untersuchte Muddearten: Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Das Rhinluch ist ein von Sander- und Moränengebieten umgebenes großes Niederungsgebiet, dessen Hauptgewässer der Kremmener Rhin, der Alte Rhin und der Rhinkanal sind. Im Rhinluch vereinigen sich Thorn-Eberswalder-Urstromtal und Berliner Urstromtal zum in Richtung Westen verlaufenden Unterelbe-Urstromtal (Bramer et al., 1991). Das Rhinluch ist ein großes Niedermoorgebiet, das von Talsandinseln und Dünen durchragt wird. Beim überwiegenden Teil der Moorfläche handelt es sich um den hydrogenetischen Moortyp Versumpfungsmoor (nach Succow, 1988), während kleinflächig auch Verlandungsmoore vorkommen, die durch den Torf unterlagernde Mudden charakterisiert sind (Zeitz, 1993).

Klima

Das langjährige Jahresmittel der Lufttemperatur liegt bei 8,4 °C mit mittleren Julitemperaturen von 17,6 °C und mittleren Januartemperaturen von -1,1 °C (vgl. Tabelle 13). Die Jahresamplitude beträgt 18,7 K. Im Mittel fallen rund 555 mm Niederschlag pro Jahr. Das Maximum der monatlichen Niederschlagsmenge wird im Juni mit durchschnittlich rund 60 mm erreicht, ein Sekundärmaximum tritt im Dezember mit rund 53 mm auf. Das Minimum tritt in den Monaten Februar bis April auf (vgl. Tabelle 13).

Tabelle 13: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Rhinluch

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-1,1	-0,2	3,1	7,4	12,8	16,3	17,6	17,1	13,3	8,9	4,2	0,7	8,4
Niederschlag [mm]	45,7	33,9	40,5	38,5	47,5	60,3	55,4	50,7	39,3	41,6	49,2	52,6	555,4

NS: Station Friesack: 52°44' n.Br., 12°35' ö.L., 29 m über NN, Zeitraum: 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst), LT: Station Zehdenick: 52°58' n.Br., 13°19' ö.L., 51 m über NN, Zeitraum: 1961-90,

Nutzung

Ab Anfang des 20. Jahrhunderts wurde das Gebiet planmäßig entwässert und landwirtschaftlich nutzbar gemacht. Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurde großflächig Torf abgebaut und auf einem dichten Kanalnetz transportiert.

Der überwiegende Teil des Rhinluchs wird heute als Grünland genutzt. Wenige Bereiche konnten durch ausreichende Melioration zur Ackernutzung gewonnen werden.

Weißensee

Im Text verwendete Bezeichnung: WEISS

Untersuchte Muddeart: Gipsreiche Schluffmudden

Geologisch-geographischer Überblick

Die so genannte Weißenseer Mulde wird durch Unteren Keuper sowie Gipskeuper, die beide von quartären Sedimenten überlagert sind, geprägt. Flussterrassen sind südlich des Helbetales im Gebiet der Terrassenstufen um Weißensee das beherrschende Formenelement (Rau, 1997). Bei den beiden, später vom Ober- und der Niedersee eingenommenen geschlossenen Hohlformen handelt es sich um Senken, die durch Salzauslaugung im Mittleren Muschelkalk entstanden sind (Unger, 1963). Nördlich und südlich der Seebecken sind Tonsteine mit Steinmergelbänken und Gipslagen des Mittleren Keupers verbreitet. Die heute ausgetrockneten Seen sind von tonig-lehmigen Kolluvien überdeckt, während phytogene Verlandungen nur selten auftreten (Jäger, 1966; Lange und Schultz, 1965; Mania, 1967; Schulze, 1981).

Im 18. Jahrhundert wurden die Seen um Weißensee abgelassen, zunächst der Obersee im Jahre 1704 und der Niedersee im Jahre 1709.

Klima

Das Gebiet um Weißensee gehört in seinen tiefer gelegenen Bereichen zum trockensten und wärmsten Teil des zentralen Thüringer Beckens. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt an der Station Artern 8,5 °C bei

mittleren Temperaturen im Juli mit 17,6 °C und im Januar mit -0,7 °C (vgl. Tabelle 14). Die Jahresamplitude beträgt 18,3 K. Das langjährige Mittel der Niederschläge beträgt an der Station Grünstedt rund 469 mm, mit einem ausgeprägten Maximum in den Sommermonaten mit im Mittel 60 mm im Juni und einem Sekundärmaximum im Dezember mit im Mittel 50 mm und Minima im Januar bis März mit langjährigen Mittelwerten von rund 26 mm und Oktober mit im Mittel 31 mm (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Weißensee

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-0,7	0,1	3,7	7,9	12,7	16,0	17,6	17,3	13,9	9,3	4,1	0,7	8,5
Niederschlag [mm]	26,2	25,7	30,4	37,9	50,0	60,0	45,1	56,9	37,2	30,7	34,0	34,6	468,6

LT: Station Artern: 51°22' n.Br., 11°17' ö.L., 164 m über NN, Zeitraum: 1961-90, NS: Station Grünstedt, 51°13' n.Br., 11°05' ö.L., 140 m über NN, Zeitraum: 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

In der Umgebung der Untersuchungsfläche Weißensee sind Kolluvien als Folge der Jahrhunderte langen Ackernutzung und der dadurch hervorgerufenen Erosion weit verbreitet. Auf den Untersuchungsflächen selbst erreichen die hier grauschwarzen tonigen Lehme eine Mächtigkeit von bis zu 1 m und bilden das Ausgangsmaterial für den bei Rau (1997) als Gley-Tschernitza bezeichneten Boden. In der Umgebung, nördlich von Weißensee und südwestlich vom Niedersee, kommen tschernosemartige Kolluvisole sowie Tschernosem aus Löss über Kies vor (Rau, 1997). Das Einzugsgebiet ist von intensiver landwirtschaftlicher Nutzung geprägt. Die Untersuchungsfläche selbst befindet sich teilweise unter ackerbaulicher Nutzung, die vernässten Areale werden als Grünland genutzt.

Sieblebener Senke

Im Text verwendete Bezeichnung: SIEB

Untersuchte Muddeart: schluffreiche Kalkmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Die Sieblebener Senke bei Gotha befindet sich am Südrand des Thüringer Beckens im Bereich der Nordostrandstörung am Thüringer Wald. Mit dem Großen Seeberg erhielten sich in abgesenkter Position jüngere Tafeldeckgebirgsabsätze aus dem Oberen Keuper und dem Lias (Bramer et al., 1991). Ebenso wie im Bereich von Weißensee entstand auch die Sieblebener Senke als Auslaugungshohlform des Steinsalzes aus dem Mittleren Keuper und Mittleren Muschelkalk. Dabei entstand eine beckenartige isolierte Talerweiterung. Die auslaugungsbedingte Absenkung hält bis heute an (ebenda). Der am Rand der Sieblebener Senke gelegene Große Seeberg deutet auf das ehemalige Vorkommen eines Sees hin.

Klima

In der Sieblebener Senke und Umgebung beträgt das langjährige Mittel der Lufttemperatur 7,9 °C bei mittleren Januarwerten von -1,2 °C und mittleren Juliwerten von 16,8 °C (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag Siebleben

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-1,2	-0,5	3,0	7,1	11,9	15,1	16,8	16,6	13,4	8,9	3,5	0,2	7,9
Niederschlag [mm]	32,3	33,3	42,3	53,9	62,7	70,7	54,3	60,8	36,2	34,9	43,9	41,4	566,7

NS: Station Gotha: 50°56' n.Br., 10°40' ö.L., 321 m über NN, Zeitraum: 1961-90, LT: Station Erfurt: 50°59' n.Br., 10°57' ö.L., 316 m über NN, Zeitraum: 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Die mittleren Jahresniederschläge betragen rund 567 mm mit einem fröhsommerlichen Maximum im Mai und Juni und Minima im Herbst in den Monaten September und Oktober und im Winter in den Monaten Januar und Februar.

Nutzung

In der Umgebung der Sieblebener Senke sind Lössderivate, meist Schwemmlösse verbreitet (Bramer et al., 1991). Geringmächtig und mit lückenhafter Verbreitung kommt Löss vor. Auf den daraus entstandenen Schwarzerden bzw. Rendzinen erfolgt intensive ackerbauliche Nutzung. Die Niederungsflächen der Sieblebener Senke werden überwiegend als Grünland genutzt.

Zehlendorfer Moor

Im Text verwendete Bezeichnung: ZEH

Untersuchte Muddeart: Kalkmudden

Geologisch-geographischer Überblick

Das Zehlendorfer Moor ist Teil des großen Aufraben-Moorsystems mit einer Vergesellschaftung von Verlandungs- und Durchströmungsmooren. Es befindet sich in der Aufrabenniederung zwischen den Orten Recknitz und Zehlendorf. Ein Teil der das gesamte Tal einnehmenden Moorfläche ist als Naturschutzgebiet mit gleichem Namen ausgewiesen.

Das Moor liegt auf einer Talwasserscheide zwischen Aufraben und Recknitz. Das Tal ist als glaziale Abflussrinne ein einer Radialpalte des letzten Inlandeises entstanden (Jeschke et al., 2000).

Von hier aus fließt die Recknitz in Richtung Nordosten der Ostsee zu, während der Aufraben in Richtung Südwesten entwässert. Auf der Wasserscheide bildete sich ein See, in dem Kalkmudde sedimentierte. Der See blieb bis ins 19. Jahrhundert erhalten und wurde vor ca. 200 Jahren abgelassen. Im Anschluss an die Seeablassung lagerten sich geringmächtige Torfe ab, so dass heute unter einer maximal 50 cm mächtige Torfschicht bis zu 26 m mächtige Kalkmudden liegen.

Klima

Das langjährige Mittel der Lufttemperatur der Untersuchungsfläche Zehlendorfer Moor liegt bei 8,1 °C mit sommerlichen Mitteltemperaturen von 16,7 °C im Juli und winterlichen Mitteltemperaturen von -0,8 °C im Januar (Tabelle 16). Die Jahresamplitude beträgt 17,5 K. Die Jahresniederschlagsmenge beträgt 544 mm mit einem sommerlichen Maximum in den Monaten Juli bis August und einem Minimum in den Monaten Februar bis April (vgl. Tabelle 16).

Tabelle 16: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Zehlendorfer Moor

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-0,8	-0,1	2,8	6,7	11,9	15,3	16,7	16,6	13,3	9,1	4,2	0,9	8,1
Niederschlag [mm]	39,5	28,7	36,3	37,8	48,8	64,3	66,3	53,3	42,2	36,6	45,2	45,0	544,0

Station Teterow: 53°45' n.Br., 12°37' ö.L., 46 m über NN, Zeitraum: 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Nutzung

In den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurde die Talwasserscheide um 4 km in Richtung Nordosten verlegt und der Aufraben ausgebaut und erheblich vertieft. Dadurch kam es zu einer Absenkung der Grundwasserstände im gesamten Niederungsgebiet, verbunden mit der Degradation der Torfe. Von 1963 bis 1995 wurden große Flächen des Niedermoors landwirtschaftlich als Intensivgrünland genutzt. Auch heute noch wird ein Teil der Flächen als Grünland genutzt. Die Flächen im namensgleichen Naturschutzgebiet wurden seit der Unterschutzstellung im Jahre 1972 sporadisch als Weideland genutzt (Jeschke et al., 2003).

Ziethener Seebruch

Im Text verwendete Bezeichnung: ZIETH

Untersuchte Muddeart: Detritusmudde

Geologisch-geographischer Überblick

Das Ziethener Seebruch befindet sich im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin nordöstlich von Berlin und 10 km südwestlich von Angermünde. Die flache Senke, deren mineralische Basis vorwiegend aus Ton, Geschiebemergel und sandigen Substraten besteht, weist ein sehr heterogenes Basisrelief auf und hat eine Größe von ca. 170 ha. Die Fläche ist eingebettet in kuppige und flachwellige Grundmoränenflächen in westlicher, südlicher und östlicher Richtung und den sich unmittelbar nördlich anschließenden Stauchendmoränenbereich der Angermünder Staffel. Die Sedimentabfolge besteht aus einem mehrfachen Wechsel von Mudde und Torf und ist damit Ausweis mehrerer Veränderungen des Seespiegels. Die Moormächtigkeit variiert zwischen 0,3 und 6,4 m (Schalitz et al., unveröff.). Der See, aus dem das Ziethener Seebruch hervorgegangen ist, war lange Zeit ein flaches verlandendes Gewässer, das über einen Graben abgelassen wurde. Umgeben ist das Bruch von ackerbaulich genutzten Grundmoränenflächen, auf denen es bei entsprechenden Windgeschwindigkeiten zu Erosion und Verlagerung feiner Partikel kommt. Historischen Berichten zufolge (vgl. Lutze et al., i.Dr.), wird auf diesen Flächen schon seit langer Zeit Ackerbau betrieben, so dass die Bedingungen für die Verlagerung anorganischer Partikel günstig waren.

Klima

Die Lufttemperatur beträgt im Mittel 8,3 °C, mit dem wärmsten Monat Juli mit im Mittel 17,5 °C und dem kältesten Monat Januar mit im Mittel -1,2 °C (vgl. Tabelle 17). Die Jahresamplitude beträgt 18,7 K.

Tabelle 17: Durchschnittliche Monatswerte von Lufttemperatur und Niederschlag im Ziethener Seebruch

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Mittel
Lufttemperatur [°C]	-1,2	-0,3	3,0	7,4	12,7	16,2	17,5	17,1	13,4	9,0	4,1	0,6	8,3
Niederschlag [mm]	36,4	30,3	33,6	38,9	51,3	68,8	53,6	55,5	43,8	33,3	44,1	42,6	532,1

Station Angermünde: 53°01' n.Br., 13°59' ö.L., 54 m über NN, Zeitraum: 1961-90 (Quelle: Deutscher Wetterdienst)

Die mittleren Jahresniederschläge betragen rund 530 mm, mit einem ausgeprägten sommerlichen Maximum von durchschnittlich 68,8 mm im Monat Juni und einem ausgeprägten Minimum in den Monate Februar und März und einem niederschlagsarmen Oktober (vgl. Tabelle 17).

Nutzung

Das Ziethener Seebruch war bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts noch ein See, mit ortsansässiger Fischerei (vgl. Lutze et al., i.Dr.). Die Entwässerung erfolgte zunächst über Gräben zum Rosinsee bis Ende der 50er Jahre des vergangenen Jahrhunderts ein Schöpfwerk errichtet wurde. Das Ziethener Seebruch wurde flächendeckend gedränt, wobei z.T. ausgesprochen tiefe Gräben und Verrohrungen angelegt wurden und die Fläche durch ein dichtes Grabennetz stark zergliedert wurde.

Aufgrund mehrfacher Wasserabsenkungen zum Zwecke landwirtschaftlicher Nutzung sind eine starke Mineralisierung der organischen Substanz und damit ein hoher Eutrophierungsgrad des Standortes gegeben. Ein Teil der Moorfläche wird als Grünland unter extensiver Weidenutzung sowie als Mähweide genutzt. Die zentralen Moorbereiche sind für eine landwirtschaftliche Nutzung zu nass. Im Einzugsgebiet auf den Böden der Sander und sandigen Endmoränen ist Ackernutzung vorherrschend, Forst- und Waldflächen kommen nur kleinflächig vor.

3.2 Bodenprofile, Bohrungen, Probenentnahme

Mit dem Spaten wurde eine Bodengrube ausgehoben, an dessen ungestörter Profilwand die Schichten- und

Horizontmerkmale bestimmt wurden. Auf Grund der auf einigen Flächen hohen Wasserstände und der geringen Standfestigkeit des Materials mussten die Ausmaße der Profilgruben den jeweiligen Bedingungen angepasst werden. Die Tiefe einiger Profile erreichte statt 120 cm nur 100 cm.

In Tabelle 18 sind die im Gelände angesprochenen Parameter aufgeführt. Die Geländeaufnahmen dienten der Identifizierung und Beschreibung von Substraten, Schichtung und Bodenhorizonten sowie der Entnahme von Bodenproben.

In ursprünglichen, nicht entwässerten Mudden, wie sie in Moorbohrungen angetroffen werden, sind die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) aufgeführten morphologischen Merkmale relativ gut zu erkennen. Es bedarf allerdings einiger Erfahrung in der Ansprache von Sedimenten, da es vielfach Übergänge und Abstufungen zwischen die einzelnen Typen gibt. Torfmudde im Sinne der Definition der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005, S. 164), also „... Sedimente vorwiegend aus aufgearbeitetem Torf, mit deutlich erkennbaren Torfresten ...“ wurde nicht angetroffen, wohl aber Sedimente aus der Übergangsphase von Stillgewässer zu Moor, also torfhaltige Mudden und muddehaltige Torfe. Dabei wurden die Sediment-Anteile von Torf und Mudde nach visuellen Kriterien abgeschätzt und dann dem einen oder anderen Substrat zugeordnet.

Die Benennung der Muddeart wurde untersetzt durch folgende Merkmale, die unerlässlich für eine detaillierte Beschreibung des Substrates sind und in anderen Klassifikationen z.T. schon in den Bezeichnungen enthalten sind (wie z.B. Grob- und Feindetritus): makroskopisch erkennbare Einzelbestandteile der Mudde, z.B. die Art und Größe der Pflanzenreste sowie deren Humifizierungsgrad, Vorhandensein und Menge von Molluskenschalen und Characeenröhrchen, die Farben von Matrix und Beimengungen, die Konsistenz und Plastizität, Art und Menge von Beimengungen, der Kalkgehalt sowie der Geruch.

Da bei der Geländeaufnahme insbesondere der Humusanteil einige Male schwierig zu bestimmen war, wurden nach Vorliegen der Laborbefunde falsch zugeordnete Substrate reklassifiziert. Dieser Fall trat sehr selten und dann vor allem bei den an organischer Substanz reichen Diatomeenmudden auf, deren Anteil an organischer Substanz in einigen Fällen um die 30 Masse-% Marke lag.

Auf folgenden Mooren im Naturpark „Uckermärkische Seen“ wurden Einzelbohrungen durchgeführt: Metzelthinwiese, Metzelthiner Hausseebruch, Lange Wiese, Baberowmoor, Kompasswiese und Schulensee. Außerdem wurden die in der Bodendatenbank des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg (LBGR) vorhandenen Bodenprofile durch die Mitarbeiter des LBGR zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

Tabelle 18: Aufnahmeparameter am Bodenprofil

Profil bezogene Daten	Horizont bezogene Daten
Mächtigkeit des Bodens	Tiefe des Horizontes
Anzahl der Horizonte	Mächtigkeit
Lage des aktuellen Grundwasserspiegels	Substrat
Wasserleitfähigkeit mit Bohrlochmethode	Beimengungen
Reliefposition	Zersetzungsgrad/Humusform
Bodentyp	Gefügeform
Substrattyp	Farbe des Horizontes
Bodenform	Kalkgehalt
	Hydromorphiemarkmale
	Bodenfeuchte

Zusätzlich zu den Bodenprofilen wurden im Zeitraum zwischen 2000 und 2005 zahlreiche Moorbohrungen in Brandenburg und Sachsen durchgeführt, deren Zweck die Gewinnung von Kenntnissen der Stratigraphie, also der Torf- und Muddearten sowie deren vertikale Abfolge war. Aus diesen Aufnahmen resultieren Erfahrungen zu den morphologischen Merkmalen der Mudden in situ, die in der vorliegenden Arbeit jeweils mit Verweis auf die Untersuchungsfläche genannt werden.

Bei jedem Profil wurde aus allen Horizonten eine gestörte Beutelprobe von 2 l entnommen. Die Hälfte jeder Probe wurde luftgetrocknet und dann gemahlen und gesiebt. Die Zerkleinerung erfolgte mit der Achatmühle oder mit dem Mörser. Besonders die Detritusmudden ließen sich nur schwer in der Mühle mahlen, so dass

für diese Proben ein Porzellanmörser verwendet wurde. Im Anschluss wurden die Proben mit einer Siebmaschenweite von < 2 mm gesiebt und dann trocken eingelagert. Der andere Teil der Probe wurde bei 4°C im Kühlraum aufbewahrt. Dies ermöglichte eine Nachbestimmung der Substrate.

Anhand der Profilaufnahmen wurden für jede Untersuchungsfläche mindestens zwei repräsentative Punkte für eine detaillierte Untersuchung von chemischen und physikalischen Parametern ausgewählt. Hier wurden zusätzlich ungestörte Proben in Metallstechzylindern mit einem Volumen von 100 cm^3 entnommen. Die Stechzylinderentnahme erfolgte in vertikaler Richtung aus jeweils allen Horizonten. Dazu wurde im Anschluss an die Anlage und Aufnahme des Profils die Profilwand schrittweise abgetragen. Bei der Arbeit wurde darauf geachtet, dass diese Seite nicht durch Betreten oder Verstoß verändert und belastet wurde. Die Stechzylinder wurden möglichst in der Mitte des Horizontes entnommen, in gleicher Tiefe der Entnahme der Beutelpuben.

Die Zylinder wurden bei weichem Material mit dem Handstecher ohne den Gebrauch eines Gummihammers in das Substrat gedrückt und die Stechzylinder entnommen. War dies nicht möglich, wurde ein Gummihammer verwendet, mit dessen Hilfe der Stechzylinder in den Boden eingeschlagen wurde. Die Stechzylinder wurden dann bis zu ihrer Verwendung bei 4°C im Kühlraum eingelagert, wobei die Untersuchungen möglichst zeitnah zur Entnahme durchgeführt wurden, um Gefügeveränderungen durch Verdunstung oder Bodenorganismen auszuschließen. Konnten die Proben bei längeren Feldkampagnen nicht umgehend in die Kühlkammer überführt werden, wurden sie in Plastiktüten verpackt aufbewahrt, ebenfalls um eine Verdunstung zu verhindern. Pro Horizont wurden 10 Stechzylinder entnommen, davon fünf zur Bestimmung der Trockenrohdichte und fünf zur Messung der Saugspannungskurve. Auf der Fläche Ziehlener Seebruch wurden Stechzylinderproben für eine Computertomographie entnommen. Hierbei kam ein von den Mitarbeitern des ZALF Müncheberg entwickeltes Verfahren zum Einsatz, bei dem der Stechzylinder auf den Boden aufgesetzt wird und mit Hilfe eines Messers in den Boden geschnitten wird. Nach der Entnahme wurden die Stechzylinder mit Chloroform behandelt um Aktivitäten der Bodenlebewesen und damit Gefügeveränderungen zu verhindern (siehe Kapitel 3.6).

3.3 Pollenanalyse

Die Pollenanalysen wurden durch Frau Dr. J. Strahl vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg durchgeführt.

Da die chemische Zusammensetzung der organischen Substanz Einfluss auf die Bodeneigenschaften hat, ist die korrekte Unterscheidung der Substrate sowie die möglichst genaue Quantifizierung der Anteile limnischer und telmatischer organischer Substanz eine Voraussetzung für die Ableitung von Bodeneigenschaften. Anhand der Analyse der Pollenspektren wurde die Lokalvegetation mit dem Ziel charakterisiert, die anhand makroskopischer Merkmale vorgenommenen Zuordnungen zu evaluieren.

3.4 Laboranalytik chemischer Elemente und Verbindungen

Für die chemische Analytik wurden die Proben homogenisiert, luftgetrocknet, in der Achatmühle auf eine Korngröße von $< 63\text{ }\mu\text{m}$ gemahlen und für die einzelnen Analysen aufgeteilt. In Tabelle 19 sind die Analysemethoden aufgeführt, die für die vorliegende Arbeit zum Einsatz kamen.

Bei einigen Elementen wurden die Gehalte mit zwei verschiedenen Verfahren bestimmt: im Königswasserauszug mit ICP und als Schmelzaufschluss mit RFA. Mit dem Schmelzaufschluss werden die „realen“ Gehalte gemessen, also die gesamte in der Probe enthaltene Menge, während im Königswasserauszug nur ein Teil des Materials gelöst wird und die Werte unter den Schmelzaufschluss-Werten liegen. Allerdings sind die Nachweisgrenzen bei der ICP deutlich geringer als bei der RFA. Die Abweichungen zwischen beiden Gehalten sind für jedes Element unterschiedlich (vgl. Hornburg und Lür, 1999). Bei Kontrolle des Datensatzes für das Element Kupfer zeigte sich, dass bei den RFA-Werten etwa ein Drittel aller Werte unterhalb der Nachweisgrenze lag, während die ICP hierbei noch Messwerte erbrachte.

Glühverlust und pH-Wert (CaCl_2) wurden für alle Schichten und Horizonte bestimmt ($n=277$). Es wurden Sedimente mit einem geringeren als in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) definierten Mindestanteil für Mudden von 5 Masse-% in die Untersuchung aufgenommen, um nicht wegen eines etwaigen Methodenfehlers als Seesedimente identifizierte Proben auszuschließen. Der Gehalt an CaCO_3 wurde mit der Scheibler-Apparatur dann gemessen, wenn mit dem Schnelltest mit verdünnter HCl eine Reaktion festgestellt wurde, oder, wenn auf Grund des Vorhandenseins von Schalenresten ein Kalkgehalt vermutet wurde ($n=268$).

Tabelle 19: Chemische Analysemethoden für die feste Bodensubstanz

Parameter	Messverfahren
pH-Werte	Bestimmungen nach DIN ISO 10390 mit Reinwasser (pH H ₂ O) und CaCl ₂ Lösung (pH CaCl ₂)
Wassergehalt	Trocknung bei 105°C (W105) nach DIN ISO 11465
Glühverlust	Veraschung bei 550°C (GVV550) nach DIN 19684, T3 bzw. bei 1000°C (LOI) (Angaben bezogen auf die bei 105°C getrocknete Probe)
Karbonate	Säureäquivalentmethode nach Scheibler
potenzielle Kationenaustauschkapazität (KAKpot)	nach Mehlich (DIN ISO 19684-8), KAKpot entspricht rückgetauschtem Barium, Bestimmung der Einzelkationen (Na, K, Ca, Mg) sowie des Ba mittels ICP-AES, Bestimmung der H-Ionen maßanalytisch mittels Titrierautomat; Bestimmung nur an Proben mit pH(H ₂ O) > 5,5
effektive Kationenaustauschkapazität (KAKeff)	nach Ulrich (1990), KAKeff = Summe der Einzelkationen, Bestimmung von Na, K, Ca, Mg, Al, Fe mittels ICP-AES, Bestimmung NH ₄ ⁺ maßanalytisch mittels Titrierautomat nach Wasserdampfdestillation; Bemerkung: Bestimmung nur an Proben mit pH(H ₂ O) < 5,5
TC, TN, TS	Elementaranalyse nach DIN ISO 10694 (trockene Verbrennung bei 1150°C unter O ₂ -Zufuhr)
Elementgehalte im Königswasserauszug	Aufschluss in Anlehnung an DIN ISO 11466, Elementbestimmung mittels ICP-AES (DIN 38406-E22) bzw. GFAA S
Element-Totalgehalte	Bestimmung nach Schmelzaufschluss mittels WDRFA, Proben vorab bei 1000°C geglüht; (SO ₃), (F), (CL), (As) = Restkonzentrationen
Fe/Al, aktive Oxide (amorph)	mit oxalsaurem Ammonium-Oxalat n. Schwertmann (1964)
Fe/Al, pedogene Oxide (kristallin)	Extraktion mit Dithionit-Citrat n. Mehra u. Jackson (1969)

Der Datensatz mit Haupt- und Spurenelementkonzentrationen umfasst maximal 138 Proben, wobei nur in Ausnahmefällen bei den ICP-Analysen keine Analyseergebnisse vorliegen. Für die verschiedenen fachlichen Auswertungen werden die Hr-Horizonte weggelassen (n=5) und die nur jeweils benötigten Parametersätze verwendet (z.B. nur Hauptelemente, Einzelelemente usw.).

Für die Auswertungen zur potenziellen Kationenaustauschkapazität stand ein Datensatz von n=82 zur Verfügung, für die Kationen Al³⁺, Fe³⁺ und Mn²⁺ mit n=37. Für 6 Proben von der Untersuchungsfläche DM wurde zusätzlich die effektive Kationenaustauschkapazität bestimmt.

3.5 Bestimmung von physikalischen Bodenkennwerten

Die Bestimmung von physikalischen Bodenkennwerten erfolgte überwiegend laborativ. Die gesättigte Wasserleitfähigkeit wurde im Feld gemessen. In Tabelle 20 sind alle angewandten Verfahren sowie die bestimmten Parameter aufgeführt.

Tabelle 20: Physikalische Messmethodik

Parameter	Messverfahren
Feuchtrohdichte	Wägung der feuchten Probe
Trockenrohdichte	Wägung nach Trocknung bei 105°C
Reindichte	Ermittlung mittels Heliumpyknometer sowie Berechnung aus der Trockenrohdichte
kf-Wert	Gelände-Bohrlochmethode DIN 19682 (vgl. Eggelsmann, 1981)
pF-Wert	DIN 19 683
Gefügeentwicklung	Computertomographie
Einheitswasserzahl	Verfahren nach Ohde

Die Messung der Saugspannungskurve wurde mit Apparaten der Firma Eijkelkamp durchgeführt. Dabei wird ein definierter Unterdruck an die je nach Druckstufe auf einem Sand- oder Kaolinbett stehenden Stechzylinder angelegt und der Feuchtigkeitsverlust durch Wägung bestimmt. Folgende Druckstufen wurden

gemessen: pF 1,0; 1,5; 1,8 im Sandbett, pF 2,0 und 2,5 im Kaolinbett und pF 4,2 im Druckbehälter bei 15000 hPa.

Ab pF 2,0 kam es zu deutlich sichtbaren Schrumpfungen vor allem bei den Mudden mit mehr als 30 Masse-% organischer Bodensubstanz. Um Messfehler durch fehlenden Kapillaranschluss aufgrund von fehlendem Kontakt zwischen Probe und Sand- bzw. Kaolinbett auszuschließen, wurden Kontrollmessungen von Proben, von denen der Zylinder entfernt wurde, durchgeführt. Diese ergaben vernachlässigbare Abweichungen.

Die Einteilung der Porengrößenbereiche erfolgt nach dem Äquivalentdurchmesser und der Wasserspannung (hPa, pF) als Grenzwert zur Entwässerung kreiskapillarer Poren.

Die Berechnung von Substanz- und Porenvolumen erfolgte unter Verwendung der experimentell ermittelten Reindichten. Das Substanzvolumen ergibt sich aus dem Quotienten von Trockenrohddichte und Reindichte und wurde hier auf ein Stechzylinder-Volumen von 100 cm³ bezogen. Die Reindichte ist die Masse einer hohlraumfreien Volumeneinheit des bei 105 °C getrockneten Bodens und kann entweder rechnerisch, unter Beachtung der Volumenanteile von organischer ($d_F=1,37 \text{ g cm}^{-3}$) und mineralischer ($d_F=2,61 \text{ g cm}^{-3}$) Substanz, ermittelt oder experimentell bestimmt werden (Schmidt, 1988). Die Reindichte erlangt bei der Ermittlung des Substanzvolumens und des Porenvolumens Bedeutung, so dass einer genauen Bestimmung großer Wert beizumessen ist.

Für die Ermittlung der pF-Kurven wurden insgesamt 269 Stechzylinderproben gemessen, pro Schicht bzw. Horizont zwischen 3 und 5 Wiederholungen, ausnahmsweise mit 7 Wiederholungen. Insgesamt wurde die Wasserspannungskurve für 61 Horizonte ermittelt, davon 15 Horizonte mit Detritusmudde, 29 Horizonte mit Kalkmudde, 3 Horizonte mit Seekreide, 7 Horizonte mit Schluffmudde, 2 Horizonte mit Sandmudde und 5 Horizonte mit Wiesenmergel. In den Grafiken ist jeweils die Gesamtzahl der gemessenen Stechzylinder enthalten. Etwaige auf den Flächen anstehende Torfhorizonte wurden nicht beprobt.

Die Reindichte wurde an 30 Proben bestimmt. Die Trockenrohddichte wurde bei durchschnittlich drei Profilen pro Untersuchungsfläche bestimmt (n=116). Die Einheitswasserzahl nach Ohde wurde für 98 Horizonte bestimmt.

3.6 Computertomographie

Ziel der Computertomographie waren die Visualisierung der natürlichen Lagerung und des vertikalen und horizontalen Verlaufs von Poren sowie die Ermittlung der Abstände zwischen den einzelnen Lamellen. Auf der Untersuchungsfläche ZIETH wurden zwei Proben aus unterschiedlichen Tiefen, die unterschiedliche Stadien der Gefügeentwicklung repräsentierten, entnommen. Um Aktivitäten von Bodenleben auszuschließen, die das Gefüge nachträglich verändern könnten, wurden die Bodenproben mit Chloroform behandelt und dann gekühlt aufbewahrt. Eine detaillierte Beschreibung der Methode der Probenentnahme und deren Vorbereitung für die Computertomographie geben Rogasik et al. (1997). In der Bodenkunde wird die Computertomographie als Methode zur Identifizierung von Bodenhorizonten, Verdichtungen sowie zur zerstörungsfreien Visualisierung des Porensystems eingesetzt (Rogasik et al., 1999; Cislerova, 2002; Berkenhagen, 1998; Macedo, 1998; Wildenschild, 2002). Die Computertomographie wurde am Virchow-Klinikum der Berliner Charité mit dem Gerät Siemens SOMATOM plus durchgeführt. Das Besondere an der Computertomographie ist, dass die Proben bei der Aufnahme parallel zur Schichtebene und senkrecht zur Betrachtungsrichtung durchstrahlt werden (Berkenhagen, 1998). Die Proben wurden mit einer Auflösung von vertikal 1 mm und horizontal 0,25 mm gescannt. Aus den einzelnen, pro Winkelschritt durchstrahlten, Teilbereichen, wird im Anschluss ein Schnittbild rekonstruiert.

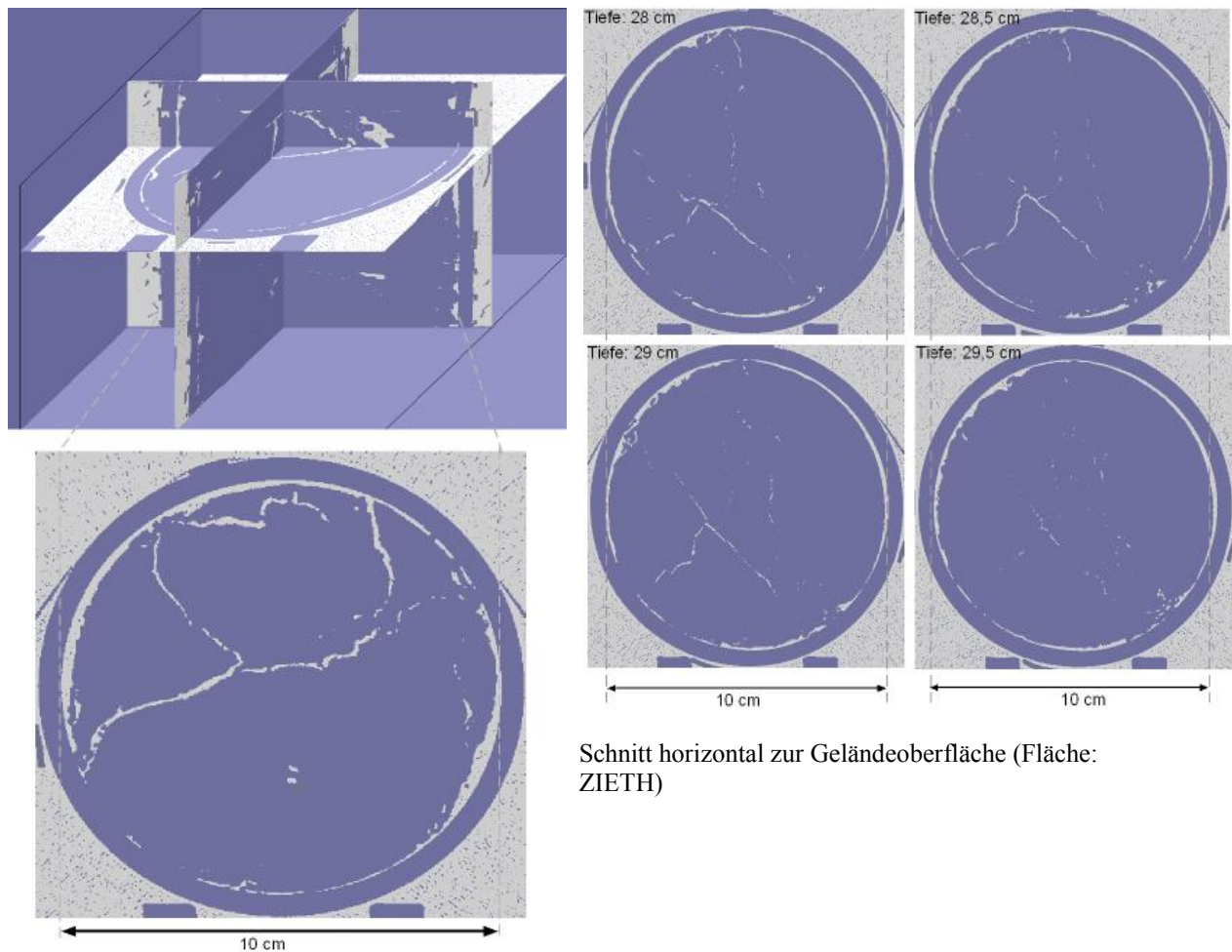
Im Anschluss wurden die Bilder der einzelnen Schichten mit der Software SlicerDicer 3.0 der Firma Pixotec zu einem dreidimensionalen Bild zusammengefügt (siehe Abbildung 4).

Das Messverfahren der Computertomographie beruht auf der Schwächung der durch den Tomographen ausgesandten Strahlung beim Durchtritt durch die Materie, hier des Bodens. Dabei ist die Abschwächung umso größer, je dichter der Boden ist.

Im Vertikalschnitt der Computertomographie zeichneten sich die Lamellen im Zentrum des Bildes nicht ab, während sie am Rand zu erkennen waren. Die Scanauflösung von 0,25 mm entspricht dem kleinsten darstellbaren Objekt, so dass Hohlräume mit einem Durchmesser ab 0,25 mm im Bild zu sehen wären. Der Abstand der einzelnen Lamellen ist somit kleiner als 0,25 mm. Die Lamellen lagen also im Bodenverband dicht aufeinander.

Dass zum Stechzylinderrand hin einzelne Lamellen sichtbar wurden, ist wahrscheinlich auf einen Artefakt zurückzuführen. Auch wenn die Probennahme unter größter Vorsicht erfolgte, fand in den Randbereichen zur Stechzylinderwand hin eine Druckentlastung statt. Dadurch vergrößerte sich der Abstand zwischen den

Lamellen und wurde im Scannbild sichtbar. Die Größe und Mächtigkeit der Lamellen ließ sich anhand des Bildes nicht ermitteln, dazu waren die Grenzen nicht scharf genug.



Schnitt horizontal zur Geländeoberfläche (Fläche: ZIETH)

Fläche: ZIETH, Tiefe: 23-33 cm
oben: Vertikal- und Horizontalschnitt,
unten: Horizontalschnitt

Abbildung 4: Dreidimensionale und zweidimensionale Visualisierung des Gefüges in Detritusmudde

3.7 Statistische Auswertung, statistische Strukturanalyse: Hauptkomponentenanalyse

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programmpaket SPSS 12.0 und OpenOffice1.1.5 durchgeführt. Die Datenhaltung erfolgte mit Access 2002.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Hauptkomponentenanalyse durchgeführt um aus dem komplexen Datensatz aus Proben von unterschiedlichem Substrat, Horizonten und Flächen charakteristische Muster der Stoffverteilung herauszufiltern. Diese sind dann im nächsten Schritt fachlich zu begründen und einer der drei „Hauptursachen“ also Substrat – Horizont – Fläche zuzuordnen. In die Hauptkomponentenanalyse gingen die Hauptelemente, ausgewählte Schwermetalle und pH-Wert, CaCO_3 -Gehalt und Glühverlust ein. Bei den Haupt- und Spurenelementen wurden die RFA-Werte verwendet, mit Ausnahme des Elementes Kupfer, bei dem zusätzlich die ICP-Werte einbezogen wurden.

Die Hauptkomponentenanalyse (HKA) ist ein statistisches Verfahren zur Identifizierung von redundanten Merkmalen in umfangreichen Datensätzen und wird bei zahlreichen Autoren beschrieben bzw. auf multivariate Geo-Daten angewandt (Stoyan et al., 1997; Henrion und Henrion, 1995; Hartung und Elpelt,

1999; Röhr, 1993; Verheyen et al., 2001).

Bei der Hauptkomponentenanalyse werden die Variablen, die untereinander stark korrelieren zu einer Komponente zusammengefasst. Die neuen Merkmale werden als Hauptkomponenten oder Faktoren bezeichnet, dabei wird von der ersten Hauptkomponente abnehmend die jeweils erklärte Varianz kleiner.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, bilden korrelierte Daten im Datenraum eine Punktwolke in Form eines Ellipsoids. Bei der Hauptkomponentenanalyse erhält man ein neues Koordinatensystem, dessen Ursprung im Schwerpunkt des Ellipsoids liegt und dessen Achsen (HK1 und HK2 in Abbildung 5) die Hauptachsen des Ellipsoids darstellen (Thieken, 2001). Dabei spiegelt die längste Hauptachse den größten Anteil an der Varianz der Daten wider. Die Bedeutung der Hauptkomponenten für die Erklärung von Sachverhalten nimmt daher mit ihrer Länge ab (Henrion und Henrion, 1995; Hartung und Elpelt, 1999).

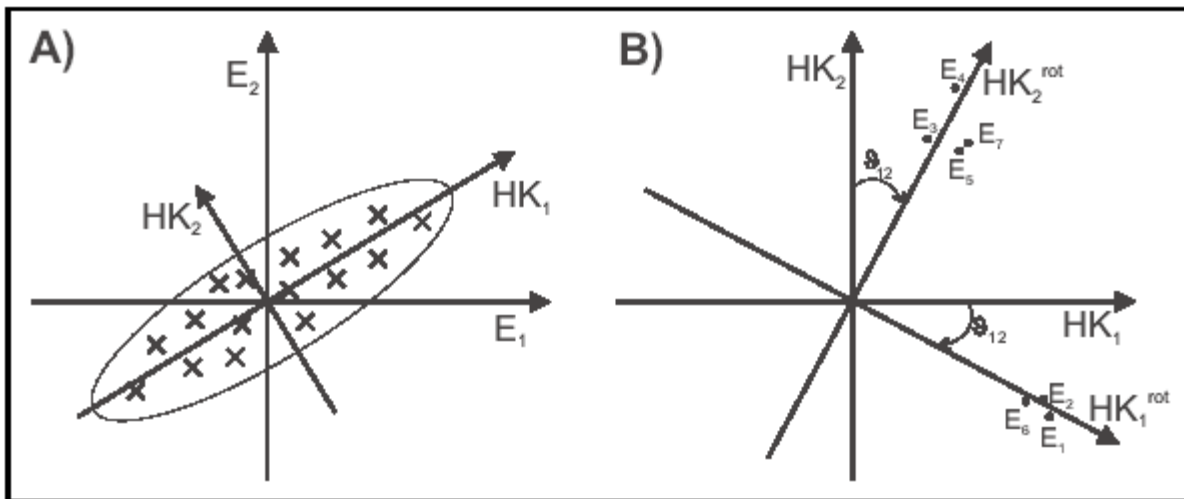


Abbildung 5: A: Graphische Darstellung eines standardisierten Datensatzes aus 16 Objekten und den Eigenschaften E_1 und E_2 mit Schwerpunkt und Hauptachsen. B: Varimax-Rotation der Hauptkomponentenmatrix (aus: Hartung und Elpelt, 1999).

Für die Auswahl der zu verwendenden Hauptkomponenten existieren verschiedene Kriterien (Henrion und Henrion, 1995; Stoyan et al., 1997): Nach dem so genannten Kaiserkriterium werden nur die Hauptkomponenten verwendet, deren Eigenwert größer 1 ist. Diese werden im so genannten Screeplot (siehe Abbildung 6) gegenüber ihrer Nummer aufgetragen. Bei realen Daten weist die Verbindungslinie zwischen den Punkten ab einem bestimmten Eigenwert, der den Beginn des unwesentlichen Teils der Datenstruktur kennzeichnet, einen deutlichen Knick auf. Die Eigenwerte unterhalb dieses Knicks können vernachlässigt werden. Von Bedeutung ist der durch die Hauptkomponenten erklärte Anteil der Gesamtvarianz, der sich aus der Summe der durch die einzelnen Hauptkomponenten erklärten Anteile ergibt. Für die innerhalb einer Hauptkomponente korrelierten Variablen wird mit Hilfe der Kommunalitäten (bzw. Faktorladungen) angegeben, welcher Anteil der Varianz der betreffende Variable durch die Hauptkomponente erklärt wird. Die Kommunalitäten besitzen Werte zwischen 0 und 1. Als so genannte Markiervariablen werden Variablen mit einer Faktorladung von $> 0,5$ bezeichnet und nur diese werden zur fachlichen Interpretation der Daten herangezogen, wobei die Mess-Variablen, die die höchsten Faktorladungen aufweisen, die Hauptkomponente am stärksten bestimmen. Merkmale, die in einer Hauptkomponente zusammengefasst werden, können sich gegenseitig ohne großen Informationsverlust ersetzen.

Das hier angewandte Verfahren nutzt bei der Suche nach redundanten Merkmalen die Korrelationsmatrix nach Pearson, in der die linearen Zusammenhänge zwischen allen untersuchten Merkmalen beschrieben werden, und bildet neue, unkorrelierte Merkmale, die aus Parameterkombinationen bestehen. Im Anschluss an die Z-Transformation wurden die Pearson-Korrelationskoeffizienten berechnet. Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für die Stärke des linearen Zusammenhangs und kann Werte zwischen 1 und -1 annehmen. Zur Korrelationsmatrix wurden die Eigenwerte und -vektoren bestimmt. Durch die Hauptkomponentenanalyse wurden dann aus den Eigenwerten mit $E > 1$ (Kaiser-Kriterium, s.o.) die Faktoren extrahiert und die Faktorladungen bestimmt. Die Faktorenladung entspricht dem Korrelationskoeffizienten zwischen Variable und Faktor.

Die horizontbezogene Analyse und Darstellung der Faktorwerte erfolgt nur für das Substrat Kalkmudde, da für die anderen Substrate die Probenzahl zu gering war.

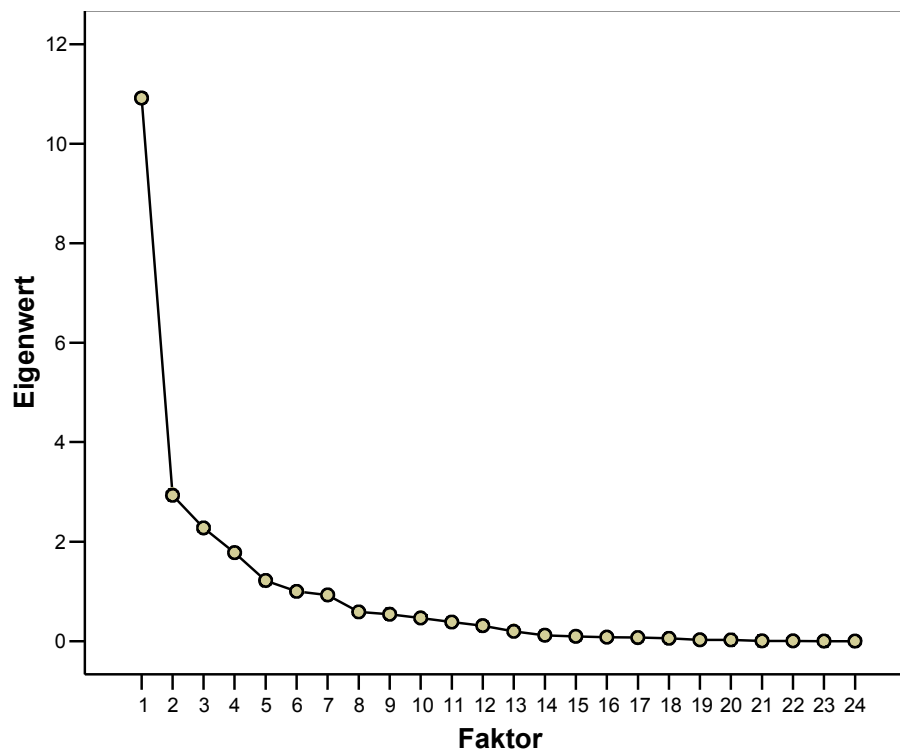


Abbildung 6: Screeplot

3.8 Hintergrundwerte und -gehalte

In der Publikation der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz zu den Hintergrundwerten (LABO, 2003) wird zwischen geogenem Grundgehalt, Hintergrundgehalt und Hintergrundwert unterschieden. Ersterer umfasst den Stoffbestand eines Bodens, der sich aus dem Ausgangsgestein und durch pedogenetische Umverteilung von Stoffen im Boden ergibt. Der Hintergrundgehalt setzt sich zusammen aus dem geogenen Grundgehalt der Böden sowie den ubiquitären bzw. diffusen Stoffeinträgen. Hintergrundwerte sind repräsentative Werte für allgemein verbreitete Hintergrundgehalte eines Stoffes im Boden. Im Allgemeinen wird der Median als statistische Kenngröße des Hintergrundwertes verwendet.

Bisher liegen keine Hintergrundwerte für Böden aus Mudden vor. Deshalb werden auf der Basis der verfügbaren Daten (eigene und vom LBGR Brandenburg zur Verfügung gestellte) für Substratarten, Substratobergruppen (mineralische und organo-mineralische Mudden), Horizonte und Substrat-Horizontgruppen Hintergrundwerte für pH-Wert, Gesamtkohlenstoffgehalt, Kalziumkarbonatgehalt, Glühverlust und potenzielle Kationenaustauschkapazität berechnet.

Außerdem stellen diese Daten einen Beitrag zur Parametrisierung von flächenbezogenen bodenkundlichen Profil- und Horizontdaten mit beschreibenden und stofflichen Kennwerten (vgl. Bauriegel, 2005) dar.

4 Organoleptische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden: Befunde der Geländeaufnahmen

4.1 Prinzipien der Muddemoorbildung

Zwei Prozesse führen zur Bodenentwicklung in Mudden, woraus sich unterschiedliche Chronosequenzen der Bodenbildung ergeben.

1. Mineralisation von Decktorfschichten

Bedingt durch ein flaches Relief, wie z.B. in den Urstromtälern, bildeten sich großflächige und flachgründige Moore, die oft dem hydrogenetischen Moortyp (nach Succow, 1988) der Versumpfungsmoore angehören. In Abbildung 7 ist der Prozess der Entstehung an der Oberfläche anstehender Mudde als Folge von Torfmineralisierung dargestellt. In diesen Versumpfungsmooren sind häufig Mudden mit geringmächtigen Torfen, die über den Mudden liegen, vergesellschaftet. Gerade diese Flächen unterlagen vielfach einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, wobei sie für die Urbarmachung melioriert werden mussten. Da Torf bei intensiver Belüftung fast vollständig in gasförmige und wasserlösliche Substanzen zerlegt werden kann, kommt es auf diesen Flächen zur Verringerung der Decktorfschichten bis hin zu deren völliger Auflösung. Mit der Melioration setzt eine sekundäre Bodenbildung in den Substraten ein. In Abhängigkeit von der Torfmächtigkeit sowie der Entwässerungstiefe sind anfangs vorwiegend die Torfe betroffen. In ihnen bildet sich ein Niedermoorfolgeboden (Schleier und Behrendt, 2000). Damit verbunden sind Translokationsprozesse und Wirkungen der Bodenentwicklung auf die darunter liegenden Mudden. Bei anhaltender Melioration unterliegen auch die Mudden pedogenetischen Prozessen, da sie infolge der kontinuierlichen Abnahme der Mächtigkeit der Torfböden unter zunehmenden Lufteinfluss gelangen.

2. Seeablassung

Seit dem Mittelalter und verstärkt im 19. Jahrhundert wurde der Wasserspiegel in vielen Seen gesenkt und die Seen vollständig abgelassen. In Abbildung 8 ist die Entstehung der Muddemoorbildung als Folge von Seeablassung schematisch dargestellt. In der Literatur sind Beispiele dieser Art der Landgewinnung zitiert aus Deutschland, Polen und Finnland (z.B. Birnbacher, 1958; Uggla, 1964; Kivinen, 1938a). Durch das rasche Absenken des Wasserspiegels wurde der natürliche Prozess der Verlandung abrupt gestoppt. Mudden lagen direkt an der Geländeoberfläche. Wegen der starken Sackungsbeträge waren die Grundwasserflurabstände weiterhin hoch, so dass Torf- bzw. Anmoorbildung stattfand. Laut einem Gutachten der Universität Rostock (Menning, 1983) zur Untersuchungsfläche DOBB betrug die Geländesackung in den ersten 12 Jahren nach den Drainagemaßnahmen der 70er Jahre bis zu neun Dezimeter.

Besonders die grabennächsten, am stärksten entwässerten Bereiche erfuhren dabei hohe Substanzverluste. Schlechter entwässerte Bereiche sackten dagegen weniger stark. Das ursprünglich relativ ebene Relief entwickelte sich infolgedessen zu einem ausgeprägten Mikrorelief mit flachen Mulden, Rücken und Kuppen.

Der durch die Entwässerung hervorgerufene Luftzutritt führte zu Mineralisation und anderen bodenbildenden Prozessen, die direkt in den Mudden abliefen bzw. auch heute noch andauern. Als Ergebnis der exponierten Lage der Mudden durchlaufen diese eine Pedogenese.

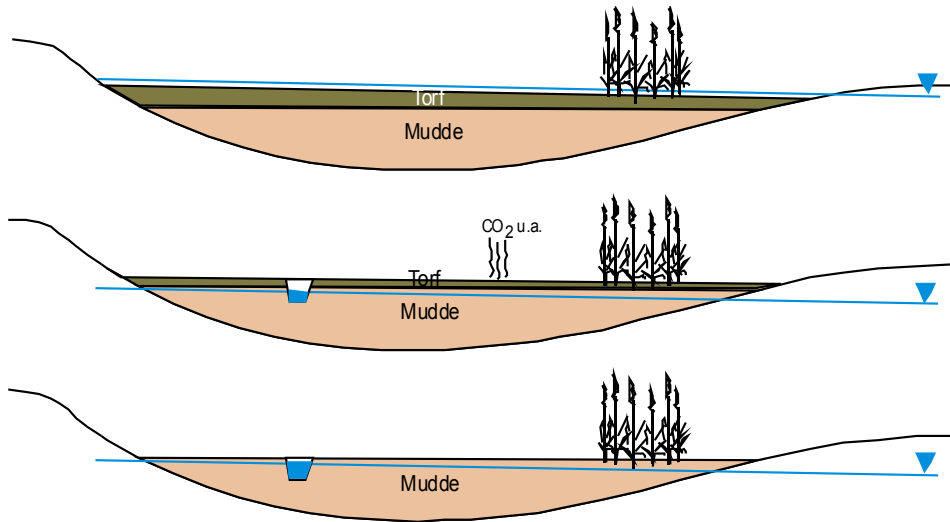


Bild oben: Geringmächtiger Torf über Mudde, der Grundwasserspiegel liegt in etwa an der Oberfläche des Moores
 Bild mitte: Zum Zwecke landwirtschaftlicher Nutzung werden Gräben angelegt, die den Torf drainieren. Die Folge ist die Mineralisation der Torfe.
 Bild unten: Der Torf ist vollständig abgebaut, die Mudde liegt an der Oberfläche und unterliegt einer Pedogenese.

Abbildung 7: Schematische Darstellung der Entstehung eines Muddemoores durch Degradation der Decktorfschichten

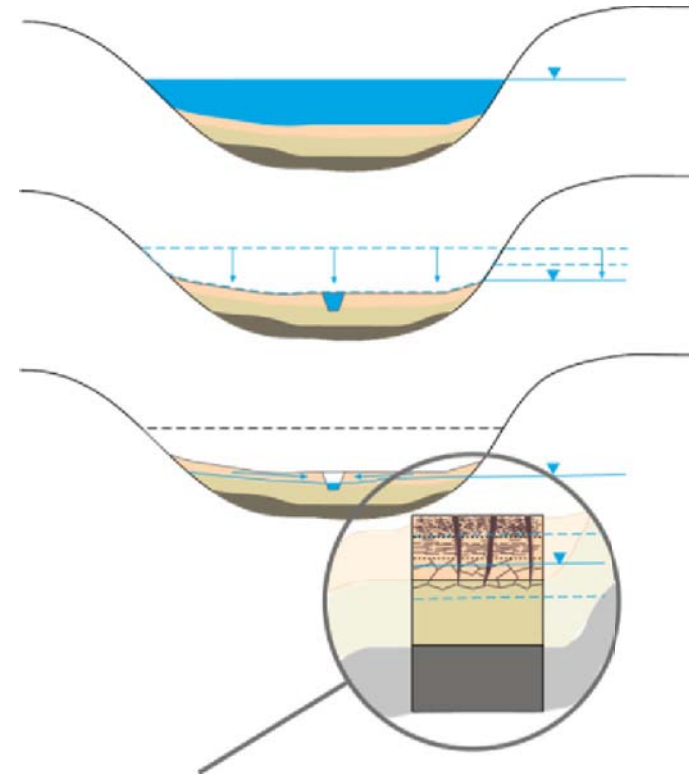


Bild oben: Verschiedene Muddeschichten unter Wasserbedeckung
 Bild mitte: Schrittweise Absenkung des Seewasserspiegels und Anlage von Entwässerungsgräben
 Bild unten: Weitere Absenkung des Grundwasserspiegels um den Sackungsbetrag auszugleichen, Ausbildung von Bodenhorizonten

Abbildung 8: Schematische Darstellung der Entstehung eines Muddemoores durch Seeablassung

Exkurs 1: Das anthropogen induzierte Versumpfungsmoorstadium als Phase der Verlandungsmoorsukzession

Hohe mittlere Glühverluste auf von Kalkmudde dominierten Flächen (ZEH, RHIN, DOBB) resultieren aus den hohen Werten im Oberboden, die nach der Muddebildung entweder als Verlandungstorfe bzw. infolge weiterhin hoher Wasserstände in Folge von Stauwasser als „Versumpfungsmoortorfe“ gebildet wurden. Auch auf Flächen, auf denen Detritusmudde ansteht, wurden Torfauflagen festgestellt. Damit könnte das Prinzip der Genese von Mooren des hydrogenetischen Moortyps Verlandungsmoor um eine sekundäre Versumpfungsmoorphase erweitert werden, bei der die Torfbildung nicht durch einen entsprechend hohen Seewasserspiegel, sondern durch Stauwasser auf dem geringdurchlässigen Muddekörper erfolgt.

Von der natürlichen, nicht anthropogen unterbrochenen Verlandungsmoorentwicklung, sind sekundäre Stadien wie Durchströmungsmoor-, Quellmoor-, Grundwasseranstiegs- und Kesselmoorbildung bekannt und beschrieben (Chmielewski, 1996 und 1997; Succow, 1988; Succow et al., 2001). Charakteristisches Merkmal ist dabei die Auflage relativ mächtiger Torfschichten (bis zu mehreren Metern mächtig) über Mudde. Ein anderes Prinzip liegt der Entstehung von Versumpfungsmooren zugrunde, die entweder als Stauwasserversumpfungsmoore oder als Grundwasseranstiegsmoore ausgebildet sind. Für beide ist das Aufliegen des Torfkörpers auf dem mineralischen Untergrund typisch. Selten sind sie von einer gering mächtigen Muddeschicht unterlagert.

Neben dieser natürlichen „Moorsukzession“, die sowohl auf Veränderungen im Landschaftswasserhaushalt als auch auf Mechanismen der Selbstregulation beruht, kommt ein anthropogen induzierter Prozess, der für die in der vorliegenden Arbeit untersuchten Flächen erkannt wurde, vor.

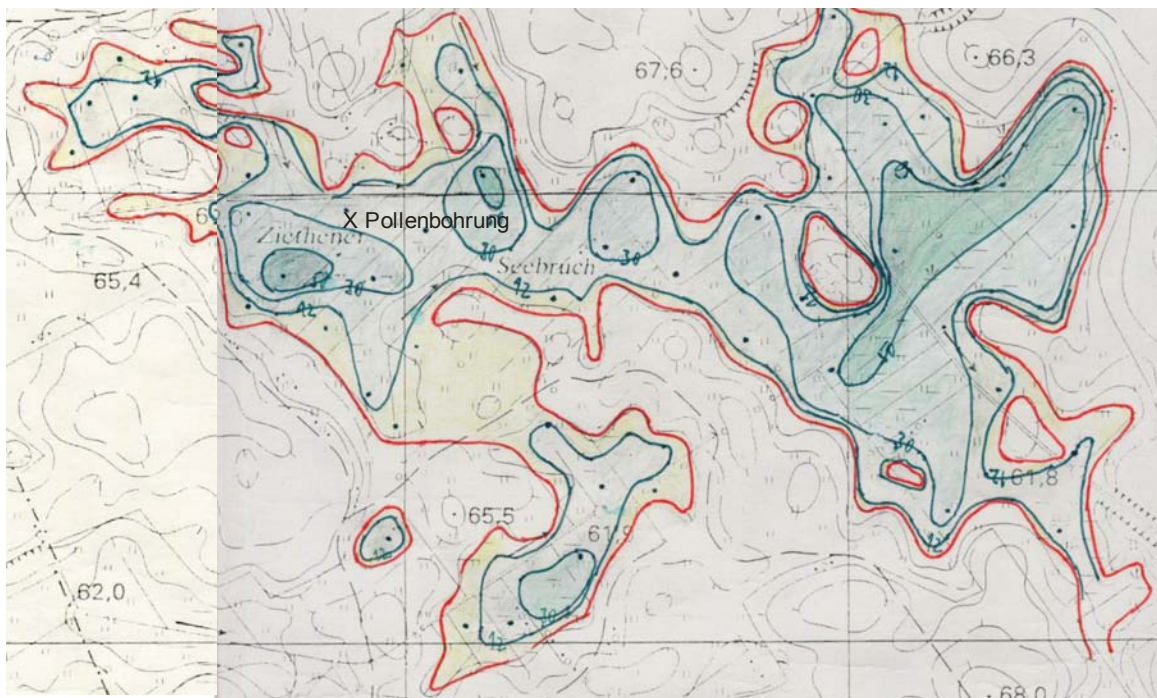
Dabei führen zwei Prozesse zu weiterhin hohen Wasserständen, unter denen das Wachstum von Torf jeweils eine begrenzte Zeit möglich ist: Sackung und Verdichtung. Die Sackung wirkt solange der Stagnation des Wachstums entgegen, bis der Sackungsbetrag durch den Wachstumsbetrag annulliert wird. Die Verdichtung resultiert aus der Konsolidierung als Folge der Sackung, ist also ein Ergebnis der Volumenabnahme. Mit der vertikalen Volumenabnahme geht auch eine horizontale Volumenverringerung einher, die sich in der Ausbildung von Klüften äußert. Diese dienen als bevorzugte Wasserleitbahnen, in denen, bei Vorhandensein eines Gefälles, der Wasserfluss stattfindet, Stauwasser also abgeführt wird. Die Bildung von Klüften wirkt daher dem Wasserstau entgegen.

Sackung und Verdichtung rufen eine „Versumpfung“ des Standortes hervor, die vom Prinzip her dem der Bildung eines Stauwasserversumpfungsmoores entspricht. Nur ist der Stauer hier nicht der mineralische Untergrund (z.B. Geschiebemergel) sondern die Mudde. Die für Versumpfungsmoore typischen Merkmale, wie intraannuell fluktuierender Wasserstand, mit hohem Wasserstand im Frühjahr und herbstlichen Trockenphasen sowie geringe Torfmächtigkeiten, kommen ebenfalls in den anthropogen induzierten Versumpfungsmooren vor. Dies führt dazu, dass die Torfschichten überwiegend hohe Zersetzungsgrade aufweisen, wie es auf den untersuchten Flächen der Fall war. Wegen des Wechsels von Torfbildungs- und Torfabbauphasen wird das Höhenwachstum mehr oder weniger im Gleichgewicht gehalten. Daher handelt es sich bezüglich des Torfwachstums „von Natur aus“ um einen stagnierenden Moortyp. Bezüglich der Bodenbildung lässt sich daraus schlussfolgern, dass der vererdete Oberboden (entspricht dem Oberbodenhorizont des Bodentyps Erdniedermoor, nHv) ein stabiles Stadium der Degradation ist und in der Folge (wenn der Wasserstand nicht anthropogen verändert wird) keine Vermulmung des Oberbodens auftritt.

Exkurs 2: Zusammensetzung der organischen Substanz anhand von Pollenanalysen

Auf der Untersuchungsfläche ZIETH wurde eine Pollenbohrung abgeteuft (siehe Abbildung 9). Die primäre Fragestellung war dabei, wie sich im Profil z.T. nur undeutlich erkennbare Substratwechsel in der Pollenzusammensetzung unterscheiden und ob sich anhand der Pollenanalyse limnische und telmatische Phasen ableiten lassen, die mit den Substratwechseln übereinstimmen. Dies kann vor allem aus dem so genannten Nahflug abgeleitet werden, da dieser das ökologische Milieu widerspiegelt. Mit dem Nahflug gelangen Pollen und Mikroreste aus der nahen Umgebung, hier also von den Organismen, die die Moorfläche selbst besiedelten, ins Sediment.

Ein weiteres Ziel war die zeitliche Einordnung der Substratwechsel.



Legende:






-  Moorgrenze (Torfmächtigkeit > 30 cm)
-  Moormächtigkeit 30 - 120 cm
-  Moormächtigkeit 120 - 300 cm
-  Moormächtigkeit 300 - 500 cm
-  Moormächtigkeit >= 500 cm

Abbildung 9: Karte der Moormächtigkeit der Untersuchungsfläche ZIETH (Schmidt, 1996, unveröffentlicht)

Das heutige Ziethener Seebruch wird durch fünf Kessel, die durch mineralische Schwellen voneinander getrennt sind, gebildet. In den Kesseln erreicht die Moormächtigkeit mehr als fünf Meter, während sie auf den Mineralschwellen 1,20 m nicht überschreiten. Die überwiegende Fläche erreicht Moormächtigkeiten zwischen 1,2 und 3 m. In den Profilen tritt ein häufiger Wechsel von limnischen und telmatischen Substraten auf. Auf Grund des Reliefs kamen Moor-, Verlandungs- und offene Wasserflächen nebeneinander vor. Dies spiegelt sich auch in der taxonomischen Zusammensetzung der Pollen und Mikroreste wieder, bei denen vielfach Vertreter der Sumpf- und der Wasservegetation in einer Probe vorkommen (siehe Tabelle 21.). Die darin repräsentierten Veränderungen der Wasserstände wurden durch Veränderungen der hydrologischen Bedingungen hervorgerufen, wie es schon für zahlreiche Seen und Moore im Jungmoränenland beschrieben wurden (siehe Kaiser, 2001; Chmielewski, 1997; Driescher, 1974; Rog, 1978 und 1979).

An der Stelle der Pollenbohrung begann die Akkumulation von limnischen Sedimenten in der Jüngeren Dryas (10900 bis 10200 v.h.) mit der Ablagerung von Feinsand, Schluff- und Tonmudde. Diese Epoche ist gegenüber der vorhergehenden durch einen anhaltenden Kälterückschlag geprägt, der sich auch in der Vegetationszusammensetzung der Niederungen widerspiegelt (siehe Tabelle 21). Die Pollenprobe enthielt sehr geringe Werte der Sumpf- und Wasservegetation.

Bis mindestens ins Präboreal (10200 bis 9000 v.h.) wurden weiterhin mineralische Mudden akkumuliert. In der geringmächtigen Schicht Tonmudde, die ins Präboreal datiert wurde, fanden sich Maclosteren des Gattungsschwammes sowie die Alge *Pediastrum* mit geringen Werten (siehe Tabelle 21).

Die das Subboreal (4500 bis 3000 v.h.) repräsentierende Pollenprobe weist eine Verzahnung von telmatischen und aquatischen Lebensräumen aus. Das Sediment wechselte zwischen faserreicher Detritusmudde und Mudde. Wahrscheinlich traten auf Grund der fortgeschrittenen Verlandung ehemaliger Seebereiche bei vergleichbaren Wasserständen größere Landbereiche auf, die mit Röhricht- und Sumpfpflanzen bestanden waren. Dagegen waren in den tiefsten Bereichen der Becken Wasserflächen vorhanden, in denen Pflanzen der untergetauchten und Schwimmblattvegetation siedelten (siehe Tabelle 21). An dieser Stelle war also während der gesamten Epoche ein See vorhanden, dessen Wasserstand allerdings schwankte.

Das Ältere Subatlantikum (7500 bis 6000 v.h.) begann mit der Ablagerung von Detritusmudde. Im weiteren Verlauf weist das Sediment mehrfache Übergänge zwischen Detritusmudde, faserreicher Detritusmudde (als Übergangsbildung im Flachwasserbereich) und Torf auf. Diese sind Folge von Wasserstandsschwankungen. Bei besonders niedrigen Wasserständen waren nur noch die tiefsten Bereiche der Becken mit einem See erfüllt. Im Pollenspektrum überwiegt zunächst die Vegetation offener Wasserbereiche gegenüber der Sumpfflora und Röhrichtstandorte (siehe Tabelle 21). Im Übergang zum hangenden Torf nehmen die Anzeiger der Wasserflora deutlich ab.

Abgeschlossen wurde der Sedimentationszyklus in allen untersuchten Profilen durch eine Detritusmuddeschicht, die ab einer Tiefe von 80 cm Beimischungen von Braunmoosen enthielt. Es tritt nicht nur ein häufiger Wechsel zwischen See- und Moorphasen auf, sondern auch innerhalb des Moores herrschte eine unterschiedliche Dynamik der Verlandung. So zeigte die Pollenanalyse ein gleichzeitiges Vorkommen von telmatischen und limnischen Organismen. Nahezu über die gesamte Zeit der Entstehung existierte eine mosaikartige Verteilung von Moor- und Flachwasserbereichen. Erstere traten in den Bereichen mit geringer Beckentiefe auf und letztere in den tiefen Kesseln.

Tabelle 21: Ergebnisse der Pollenanalyse für die Untersuchungsfläche ZIETH

Teufe (m)	Sediment	Einordnung	Vegetation
2,38–2,05	Feinsand, Schluff- und Tonmudde	Jüngere Dryas	keine nennenswerte Sumpf- und Wasservegetation, sporadisches Vorkommen von Laichkraut (<i>Potamogeton</i>), Ährentausendblatt (<i>Myriophyllum spicatum</i>), Schachtelhalm (<i>Equisetum</i>), Pflanzen der Röhrichte, z.B. Schilf (<i>Phragmites</i>) Igelkolben (<i>Sparganium</i>), Süßwasseralge <i>Pediastrum</i> insbesondere <i>P. kawraiskyi</i> und die seltenere <i>P. boryanum</i> var. <i>longicorne</i> im Spektrum deuten auf kühlere Wassertemperaturen hin Häufung von Macroscleren des Geweihschwammes (<i>Spongilla</i> cf. <i>lacustris</i>) und seltener auch des Krustenschwammes (<i>Trochospongilla horrida</i>), beides Arten stehender und fließender Gewässer, Auftreten von Strudelwürmer (<i>Tubellaria</i>) und der Rotatorie <i>Filinia hofmannii</i> (im Spektrum Dauereier)
1,99–1,96	Tonmudde	Präboreal	häufige Nachweise von Macroscleren, Alge <i>Pediastrum</i> mit geringeren Werten vertreten
1,95–0,49	Wechsel von faserreicher Detritusmudde und Torf in unterschiedlichen Zersetzungsgraden	Subboreal	ausgeprägtes Nebeneinanderexistieren von Pflanzen der versumpften bzw. vermoorten Bereiche sowie der in das offene Wasser hineinragenden Schwinggras und Pflanzen der untergetauchten und Schwimmblattvegetation
0,50–0,02	Wechsel von Detritusmudde, faserreicher Detritusmudde und Torf in unterschiedlichen Zersetzungs-graden, schwankende Wasserstände bzw. Verzahnung von Wasser- und Sumpfflächen	Älteres Subatlantikum	Vegetation offener Wasserbereiche bzw. der Schlenken (insbesondere Seerosengewächse, seltener <i>Myriophyllum</i> , <i>Ceratophyllum</i> und <i>Polygonum amphibium</i>), Algen (<i>Pediastrum boryanum</i> und Zygnemataceae) zeigen erhöhte Werte und überwiegen gegenüber den Vertretern der Sumpf- (monoletete Farne, Cyperaceae, <i>Equisetum</i> , <i>Menyanthes</i>) und Röhrichtstandorte (<i>Typha-Sparganium</i>), Vertreter der Schwimmblattvegetation, oberste entnommene Probe zeigt deutliche Verarmung der höheren und niederen Wasserflora

In den als Detritusmudde angesprochenen oberen 70 cm dominieren Taxa der Gewässer, während Taxa der Sumpfpflanzen kaum auftreten, außer *Typha* und *Sparganium* sowie *Equisetum*, die jedoch ebenfalls im Flachwasser vorkommen können. Ein häufiges Vorkommen von *Typha* und *Sparganium* deutet auf einen Flachwasserstandort hin. Beide Arten sind nicht torfbildend, so dass die Torfmudden Akkumulationen von *Typha* sein könnten und somit den Mudden näher ständen als den Torfen. In den Mudden überwiegen die

Taxa der offenen Wasserflächen bzw. der Schwimmblatt- und untergetauchten Vegetation, was auf eine Akkumulation im unmittelbaren Verlandungsbereich hinweist (siehe Tabelle 22).

Tabelle 22: Taxa der Sumpf- und Wasservegetation im Pollenprofil ZIETH (Pollenanalyse: J. Strahl, LBGR)

Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose	Potamogeton sp., Myriophyllum spicatum, Nuphar sp., Nymphaea sp., Ceratophyllum
Algen, Plankter u.a. Mikroreste	Pediastrum boryanum, Pediastrum kawraiskyi, Spirogyra, Diatomeen, Tubellaria, Schwammnadeln, Zygnematales, Cladocera

Anhand der vorliegenden Pollen- und Mikrorestanalyse konnte festgestellt werden, dass Feindetritusmudden sich u.a. in verhältnismäßig flachen, nicht mehr als drei Meter tiefen, Gewässern bilden. So wies das Pollenprofil der Untersuchungsfläche ZIETH (siehe Tabelle 22) für die oberen Schichten, die als Detritusmudde identifiziert wurden, einen hohen Anteil an Seerosenpollen auf, die eine typische Pflanze für relativ flache, nährstoffreiche Gewässer ist. Mehr als die Tiefe des Gewässers ist wahrscheinlich seine Trophie von Bedeutung für die Ausprägung der Muddeart. Dies wird ebenso anhand einer weiteren Pollenanalyse deutlich, die für den Teufelsee, einem heute degradierten Waldmoor südlich von Berlin, durchgeführt wurde. Auch dort wurde die oberflächennah anstehende Detritusmudde ins Ältere Subatlantikum datiert. Hohe Werte von Birke und Erle (z.T. über 20 %) gehen wahrscheinlich auf Moor- und Feuchtstandorte des Teufelssees zurück. Es handelte sich hier also um eine beginnende Kesselmooorentwicklung, mit einem See im Zentrum des Beckens, der umgeben war von Birken- und Erlenbruchwald. Ihren Abschluss fand die Sedimentation im Jüngeren Subatlantikum, ebenfalls mit Detritusmudde. Der Bestand an Arten (siehe Tabelle 23.) ebenso wie hohe Werte von Birke und Erle deuten auf vergleichbare Standortbedingungen, also einen flachen See, umgeben von einem Birken-Erlenbruchwald, hin.

Tabelle 23: Arten der Sumpf- und Wasservegetation im Pollenprofil Teufelssee (Pollenanalyse: J. Strahl, LBGR)

Sumpf- und Wasserpflanzen, Farne, Moose	<i>Nymphaeaceae</i> , Innenhaare, <i>Nuphar sp.</i> , <i>Nymphaea sp.</i> , <i>Polygonum amphibium</i> , <i>Typha-/Sparganium-Typ</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Urticaceae</i> , <i>Equisetum sp.</i> , <i>Monoletes</i> , <i>Sphagnum</i>
Algen, Plankter u.a. Mikroreste	<i>Pediastrum boryanum</i> , <i>Pediastrum boryanum</i> var. <i>longicorne</i> , <i>Pediastrum duplex</i> , <i>Pediastrum simplex</i> , <i>Botryococcus braunii</i> , <i>Cladocera</i>

4.2 Organoleptische Eigenschaften der verschiedenen Muddearten

4.2.1 Organische Mudden

4.2.1.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz

Die organischen Mudden traten in verschiedenen Farben auf: olivgrün, grau-bläulich, grüngrau bis braun, rötlich, rotbraun sowie schwarz. Grünliche Farben traten bei Mudden mit hohen Humus-Gehalten (MILD) auf, deren Zusammensetzung primär durch seeinterne Einflüsse, wie z.B. Art und Menge der Biomasseproduktion, seeinterne Ab- und Umbauprozesse, gesteuert wurde. Ein hoher Gehalt an Algenresten ließ sie grünlich erscheinen. Graue und dunkelgraue (anthrazit) Farben traten bei Humus-Gehalten von ca. 50 Masse-% (ZIETH) auf.

Schwarzgefärbte organische Mudden in Mooren in der Uckermark sind bei Chmielewski (1996) beschrieben. Sie kamen in größerer Tiefe, als basale limnische Ablagerungen vor und bestanden aus lehmigen, z.T. schwach kalkhaltigen Feindetritusmudden. Die Mudden waren entweder tiefschwarz gefärbt, ohne andere farbliche Beimengungen oder wiesen in die braunschwarze Matrix eingebettete, gelblich-braune, 1-2 mm große Einsprenglinge auf, bei denen es sich um Siderit gehandelt haben könnte. Das Eisenkarbonat Siderit (FeCO_3) hat eine blassgelbe bis braune Farbe und entsteht durch die Verbindung von freien Eisen-Ionen mit Karbonat (Felder und Gaupp, 2003; McMillan und Schwertmann, 1998). Siderit reagiert nur mit warmer Salzsäure. Bei den schwarzen Mudden trat bei der Benetzung mit Salzsäure ein schwacher Geruch nach Schwefelwasserstoff (H_2S) auf. Das Freiwerden von H_2S spricht für das Vorhandensein von unter anaeroben Verhältnissen gebildetem Eisensulfid, das eine schwarze Färbung aufweist (Mavrocordatos und Mond-

Couture, 2000). Charakteristisches Merkmal der schwarzgefärbten, meist basal auftretenden Mudden, war ihre schmierige Konsistenz, die durch Huminstoffe hervorgerufen wurde.

Die den Oberboden bildenden organischen Mudden waren überwiegend schwarzbraun. Diese Färbung ist auf Huminstoffe bzw. eingemischte Torf- und Anmoorpartikel zurückzuführen. Bei der Entnahme von Proben wurde ein schnelles und starkes Nachdunkeln der Mudden festgestellt.

Auf Grund ihrer grauen Färbung waren die mineralreichen Detritusmudden leicht mit Schluffmudden zu verwechseln. Allerdings trockneten die Detritusmudden extrem langsam, und hafteten auch nach dem Trocknen zusammen, wobei sie eine harte und spröde Masse bildeten. Demgegenüber trockneten Schluffmudden schnell und ließen sich in der Hand leicht zerreiben, wobei die Substanz ein mehliges Pulver ergab.

Alle untersuchten Detritusmudden bildeten eine homogene, feinkörnige Masse mit gallertartiger, elastischer bis plastischer Konsistenz. Die Mehrzahl der Proben wies als Beimengung makroskopisch erkennbare Reste von Makrophyten oder Samen von Wasserpflanzen auf. Seltener waren Reste von Schnecken und Muscheln. Samen von Wasserpflanzen traten häufig in, durch seeinterne Strömungsmuster zusammengetragenen Nestern auf.

Es traten deutliche Unterschiede in der Konsistenz zwischen oberflächennahen, im wechselhaft von Grundwasser gesättigten Bereich liegenden und tieferen, im permanenten Grundwasserbereich liegenden Schichten auf. Die infolge der Entwässerung konsolidierten Mudden verhielten sich gegenüber geringem Druck zunächst elastisch, gegenüber stärkerem Druck eher plastisch. Bei abnehmendem Wassergehalt nahmen die Festigkeit der Substrate und damit ihre Belastbarkeit gegenüber Zug- und Druckkräften zu. Sie nahmen dann eine gummiartige Konsistenz an (ZIETH, MILD). Wassergesättigte Detritusmudden war knet- und ausrollbar. Geringer konsolidierte Mudden wiesen z.T. eine breiige Konsistenz auf. Die im permanenten Grundwasserbereich liegenden Mudden reagierten thixotrop, das heißt bei Erschütterungen, wie z.B. bei Beprobung des Profils, gingen die Mudden in einen flüssigen Zustand über.

4.2.1.2 Organische Substanz und pH-Werte

Bei den Substraten mit mehr als 30 Masse-% Humusgehalt liegt rund ein Viertel im Bereich zwischen 40 und 60 Masse-%. Zwischen 80 und 90 Masse-% gibt es eine weitere Häufung (vgl. Abbildung 10). Die anderen Klassen sind weniger stark besetzt, sehr selten kamen reine Detritusmudden mit einem Humusgehalt von größer als 90 Masse-% vor. Das seltene Auftreten von Mudden mit solchen hohen Humusgehalten, von Succow (1988) als Reinmudden bezeichnet, wird von den Untersuchungen in ebenda bestätigt.

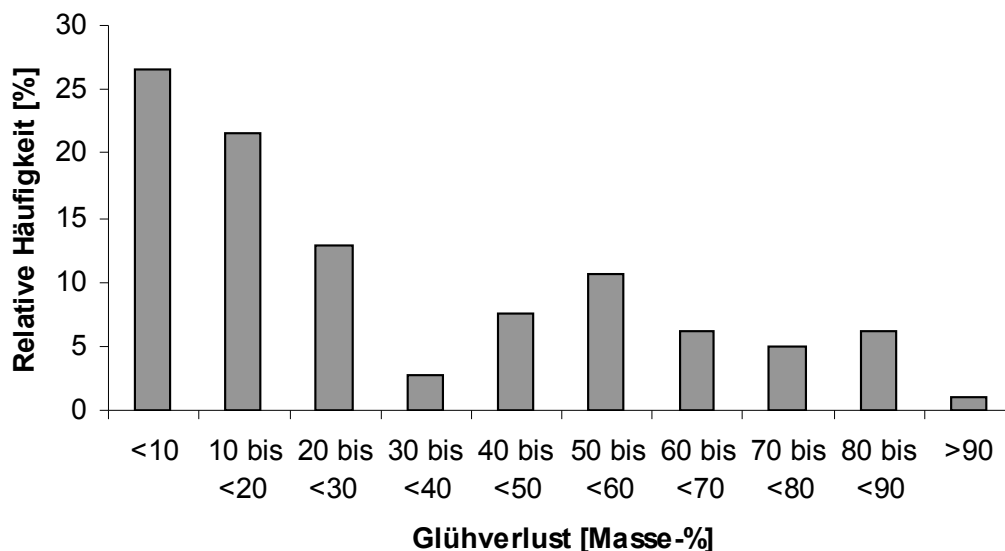


Abbildung 10: Relative Häufigkeit von Klassen des Glühverlustes

EXKURS: Abbau der organischen Substanz

Mikroorganismen finden in Detritusmudden hervorragende Lebensbedingungen vor. Der für Detritusmudden charakteristische große Anteil an Algensubstanz (Lukashev et al., 1991) besteht primär aus Polysacchariden (Klimmek, 2003; Taylor et al., 1999; Becker et al. 1998; Krüge et al., 1996), die für Mikroorganismen leicht verwertbar sind (Lukashev et al., 1991) und Wasser. So wird der Anteil von leicht hydrolysierbaren organischen Stoffen mit bis zu 54 Masse-% angegeben (ebenda). Die pH-Werte liegen für die mikrobielle Aktivität von Bakterien im optimalen schwach sauren bis neutralen Bereich. Verschiedene Autoren haben das Vorkommen von Mikroorganismen in Bezug zu den Porengrößen untersucht (Elliott et al., 1980; Hassink, 1993) und festgestellt, dass Poren zwischen 0,8 und 6 µm vor allem für Bakterien zugänglich sind und Poren um 5 µm für Protozoen. In diesen Poren sind sie vor Räubern geschützt (Postma und van Veen, 1990). Detritusmudden weisen ein großes Fein- und Mittelporenvolumen auf, bieten Bakterien und Protozoen mithin den passenden Lebensraum. Dass in entwässerten Detritusmudden intensive mikrobielle Prozesse stattfinden, wurde in Untersuchungen von verschiedenen polnischen Autoren mit Hilfe der chemischen Fraktionierung der organischen Substanz nachgewiesen (Uggla und Mirowski, 1968; Uggla et al., 1972). Dabei wurde festgestellt, dass die von den Autoren so genannten Bituminstoffe infolge von Abbauprozessen abnehmen und ihr Anteil an der organischen Substanz mit der Tiefe zunimmt. Im Unterschied dazu nehmen die Anteile von Humin- und Fulvosäuren infolge der Pedogenese zu.

Tatsächlich lassen sich bei den Glühverlusten zwischen Oberboden- und Unterbodenhorizonten Differenzen bis zu 40 Masse-% nachweisen (siehe Tabelle 24). Die Glühverluste der unterhalb des entwässerten Bereiches liegenden Detritusmudden erreichen Werte zwischen 70 und 90 Masse-%, während die im Schwankungsbereich des Grundwassers liegenden Detritusmudden Werte zwischen 40 und 60 Masse-% aufwiesen (siehe Tabelle 24). Die hohen Werte sind somit als ursprünglich anzusehen, die niedrigen Werte als das Ergebnis des Abbauprozesses. Schon Uggla (1964) beschreibt einen geringeren organischen Gehalt der Oberböden im Vergleich zu den tiefer liegenden Schichten. Der große Anteil an Mikroporen, deren Volumen in Detritusmudden bis zu 40 % ausmachen kann, führt dazu, dass sich die Mudden quasi von „innen auflösen“.

Tabelle 24: Tiefenbezogene Abnahme der Glühverluste in Detritusmudden

Profil	Tiefe [cm]	GV [Masse-%]	pH Wert	Profil	Tiefe [cm]	GV [Masse-%]	pH Wert
MILD3	0-10	45,49	6,4	ZIETH1	0-25	59,74	6
	10-30	50,09	6,9		25-35	43,02	6,2
	30-50	89,97	5,9		35-100	86,98	5,7
	>50	87,84	5,9	ZIETH12	0-25	55,1	7
MILD4	0-10	51	6,1		25-35	30,0	5,5
	30-50	91,92	6,5		35-55	42,1	5,1
	>50	90,92	6,3	ZIETH13	0-25	40,2	6
					25-35	44,5	6,1
					35-45	49,4	6,2
					45-55	42,4	7

In den untersuchten Detritusmudden traten Differenzen der pH-Werte bis maximal 1,2 auf (siehe Tabelle 24). In einigen Profilen war eine Zunahme mit der Tiefe zu verzeichnen, in einigen eine Abnahme. Die pH-Wert-Differenzen können das Ergebnis der mikrobiellen Aktivität sein, bei der Kohlendioxid, als ein Endprodukt der Stoffwechselaktivitäten, im Bodenwasser gelöst wurde. Chow et al. (2006) verglichen die Mineralisierungsraten von Kohlenstoff im Ober- und Unterboden eines landwirtschaftlich genutzten Moores infolge mehrerer Wiederbefeuchtungs- und Austrocknungsphasen. Dabei stellten sie fest, dass im Unterboden, in dem längere Zeit reduzierende Verhältnisse vorherrschten, erst nach mehreren Phasen, und dann auch deutlich länger, Kohlenstoff abgebaut wurde, als im Oberboden. Dies wird auf das langsame Eindringen, die danach aber längere Verfügbarkeit von Sauerstoff zurückgeführt. Ein vergleichbarer Prozess könnte einen langsamen, aber kontinuierlichen Abbau der organischen Substanz in den Mudden bewirkt haben. Ein weiteres Indiz für eine große biologische Aktivität ist die Vielzahl der in den Profilen gefundenen Regenwürmer sowie der gestörte Gefügeverband im Oberboden. Während in Torfen ein schrittweiser Abbau

der organischen Substanz über verschiedene Humifizierungsstufen bzw. Kondensationsstufen der Fulvosäuren erfolgt (Chow et al., 2006, Leineweber et al., 2001, Kalbitz et al., 1999), wird die organische Substanz in Mudden, auf Grund ihrer leichten Bioverfügbarkeit rasch mineralisiert und es fallen nur wenige Zersetzungsprodukte an. Infolge der in Detritusmudden ablaufenden intensiven Mineralisierungsprozesse ist ein Höhenverlust zu erwarten, der hier nicht quantifiziert wurde.

Die überwiegende Zahl der Detritusmudden lag im schwach sauren bis sehr schwach sauren Bereich. Vereinzelte Horizonte wiesen höhere pH-Werte auf. Dann war eine anthropogen aufgebraachte Mergelschicht erkennbar. Auch die Torfaufagen über Kalkmudden lagen überwiegend im schwach sauren Bereich.

4.2.1.3 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung

Die Horizonte wurden im Gelände anhand von morphologischen Merkmalen unterschieden. Bei den Detritusmudden stellte sich das Bodengefüge als das primäre Unterscheidungsmerkmal heraus. Demgegenüber waren die in allen Profilen extrem ausgeprägten Hydromorphiemerkmale schwierig zu qualifizieren und quantifizieren, da sich verschiedene hydrische Einflüsse und die daraus resultierenden hydromorphen Merkmale überlagerten. Die Böden waren durch ihre Lage im Grundwasserschwankungsbereich von Grund- und Staunässe geprägt und zeigten auf Grund des kohärenten Gefüges des Ausgangssubstrats und der extremen Wasserkapazität auch Merkmale von Haftnässe. Graugrüne, z.T. ins Bläuliche gehende Grundfarben der Bodenmatrix wurden sowohl in den permanent im Grundwasser liegenden als auch in den oberhalb des aktuellen zum Zeitpunkt der Aufnahme stehenden Grundwasserspiegels liegenden Schichten kartiert, was für Haftnässe spricht. Der geschlossene Kapillarsaum wird als mächtig eingeschätzt. Vermutlich reicht er im Prinzip bis an die obere Kante der Mudde, da die Kapillarität unterbrechende Grobporen nur ein äußerst geringes Volumen einnehmen, das im Ausgangssubstrat praktisch Null ist und sich im geschrumpften Substrat auf die durch die Schrumpfung hervorgerufenen Klüfte verteilt.

Auf beiden Untersuchungsflächen waren Polyeder mit bis zu 30 cm Durchmesser ausgebildet. Die Klüfte zwischen den Polyedern erreichten bis zu 5 cm Breite und waren meist mit Material des Oberbodens verfüllt. In den Polyedern herrschten auf Grund des Luftmangels reduktive Verhältnisse, so dass deren kaum gegliederte amorphe Masse von graugrüner, z.T. ins bläuliche gehender Farbe war. Auf den Aggregatoberflächen waren tapetenartig rostrote Eisenoxide akkumuliert. Bis zur Untergrenze der durchwurzelter Schicht waren die Mudden von vertikal verlaufenden, feine Wurzelbahnen auskleidenden, braunschwarzen Manganverbindungen durchzogen. Diese „Nadelstichporen“ traten bei frisch angeschnittenen Aggregaten auf Grund der Farbunterschiede zwischen der durch reduzierte Verbindungen graubraun, z.T. hellgrau gefärbten Mudde und dem sich um die Feinwurzeln herum ausbildenden, ca. 1-2 mm breiten, dunkelgrau-anthrazitfarbenen Ring deutlich sichtbar auf. Eine Fläche von 10 cm² war durchsetzt mit 20-40 punktförmigen Oxidationsarealen. Besonders gut sichtbar waren die Oxidationsareale beim Abstechen von Bodenscheiben parallel zur Bodenoberfläche und senkrecht zum Verlauf der Wurzelbahnen.

In Tabelle 25 ist ein typisches Profil der Böden aus Detritusmudde dargestellt. In allen untersuchten Profilen trat in einer Tiefe von 10 cm bis 50 cm ein lamellenartiges horizontales Plattengefüge auf. Die Platten besaßen einen scherbigen Bruch. Je trockener der Boden und je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten war, desto kleiner und dünner wurden die einzelnen Platten. In feuchtem Zustand kamen zusammenhängende Lagen mit gummiartiger Konsistenz vor. Diese spalteten bevorzugt an Schwächezonen, wie z.B. lithologischen Wechseln von feinkörnigem zu gröberem Material. Im trockenen Zustand kam es zur Auflösung in cm-große und nur mm-mächtige „Plättchen“ (siehe Abbildung 11).

Die Detritusmudden besaßen ursprünglich ein kohärentes Grundgefüge, das, bei sich ganzjährig im Grundwasserbereich befindenden Schichtpaketen, erhalten geblieben ist. Wiesen Schichtpakete vertikale Klüfte auf, war dies ein Zeichen dafür, dass sie von Entwässerungsmaßnahmen betroffen waren bzw. sind. Die in den Detritusmudden aufgetretenen Klüfte besaßen meist scharfe Grenzflächen, erreichten maximal 150 cm Tiefe und bis zu 10 cm Breite. Sie waren teilweise mit Material aus dem Oberboden verfüllt und zum Teil Luft erfüllt. Senkrecht zu den vertikal verlaufenden Schrumpfrissen bildeten sich weitere Risse, z.T. an durch Substratwechsel hervorgerufenen horizontal verlaufenden Schwächeflächen.

Tabelle 25: Bodenprofil der Untersuchungsfläche ZIETH, h - horizontal, v - vertikal

Nr.	Tiefe cm	Horizont*	Substrat	Gefüge	Farbe	Feuchte	Anmerkung	Aggregat- größe mm
1	20	orFa-nHv	Fhg	Krüm- gefüge	2.5Y32	schwach feucht	vererdete Mudde, Sandbeimengung	bis 10
2	36	orFa	Fhg	Platten- gefüge	5Y41	trocken	scherbiger Bruch, viele Fe-Ausfällungen	1 – 3 v – 20 h
3	45	orFt	Fhg	Platten- gefüge	5Y32	feucht	kompakt, Mn- Ausfällungen	5 – 50 h – 50 v
4	80	orFw	Fhg	Kohärent- gefüge mit Schwund- rissen	5Y43	naß	gallertartig, zeitweilig grundwassererfüllt	> 200 h
5	>100	orFr	Fhg	Kohärent- gefüge	5Y43	nass	gallertartig, ganzjährig grundwassererfüllt	keine Aggregate

*Verwendung eigener Kurzzeichen für geogene und pedogene Merkmale (in Anlehnung an Bodenkundliche Kartieranleitung, 1994), da diese in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) noch nicht vorhanden waren.

Vorgestellte Kleinbuchstaben: o = organisch, r = reliktsch, nachgestellte Kleinbuchstaben a = Absonderungsgefüge, t = geschrumpft, w = zeitweilig grundwassererfüllt, r = ständig grundwassererfüllt.



Abbildung 11: Aus dem pedogenetisch veränderten Horizont aus Detritusmudde herauspräparierte Gefügekörper (Untersuchungsfläche ZIETH)

Die Klüfte sind Folge der von Entwässerungsmaßnahmen verursachten Substratschrumpfung und -setzung, die als primäre Prozesse unmittelbar nach Erstentwässerung auftraten. Infolge dessen kam es zur Ausbildung von Sekundärgefügen, anhand derer die folgenden Horizonte identifiziert wurden. Die Horizonte traten auf beiden Untersuchungsflächen ZIETH und MILD auf. Die Horizontbeschreibungen lassen sich somit verallgemeinern.

In Abbildung 12 ist die vertikale Abfolge der Gefügeformen schematisch dargestellt, wobei die Horizonte mit den Ziffern I bis V benannt sind.

I. Vererdete Mudde mit stark zersetzten Torffasern durchsetzt, Krümelgefüge, meist tiefschwarze bis schwarzbraune Farbe, nach Wasserabsenkung infolge weiter anhaltender Grundnässe entstanden, Einmischung von Mudde durch Bodenbearbeitung und Bioturbation

Dieser Horizont ist das Ergebnis von anthropogener und biogener Turbation von Mudde und Torf. Er weist meist Krümelgefüge auf und ist von dunkelbrauner bis braunschwarzer Farbe. Der Torf ist meist vererdet, zumindest so stark zersetzt, dass die Torfart makroskopisch nicht bestimmbar ist.

Von dem darunter liegenden Muddehorizont sind Aggregate entweder durch Pflügen oder durch Labilisierung der Grenzschicht infolge der Wechselwirkungen zwischen Schrumpfungs- und Quellungsprozessen, Wurzelwachstum der Pflanzen und Bioturbation durch Bodenorganismen gelöst. Diese werden bei weiterer Bodenbearbeitung oder Bioturbation in den Torf eingearbeitet. Die Muddeaggregate weisen unterschiedliche Größen auf und sind deutlich größer als die meist zu feinen Partikeln zerfallenen vererdeten Torfe. Das krümelige Gefüge ist somit vorwiegend auf den Torfbestandteil zurückzuführen. Besonders in den nahe zur Ackerkante gelegenen Profilen traten mineralische Beimengungen auf, die wahrscheinlich durch Hangabspülung eingetragen wurden. In Arealen mit besonders geringmächtigen Moorsubstraten kann mineralisches Material auch aus tieferen Schichten an die Oberfläche gepflügt worden sein.

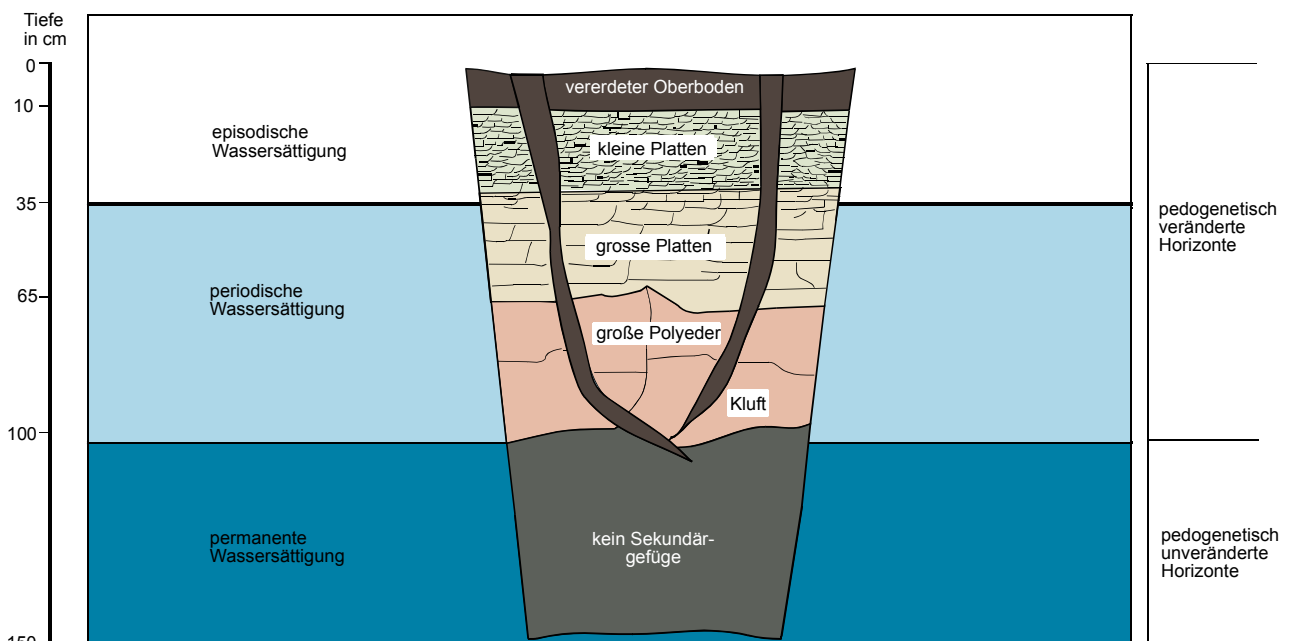


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Horizonte in Böden aus Detritusmudden

II. Schrumpfungshorizont 1 aus Mudde mit lose zusammenhaltenden kleinen Aggregaten.

Dieser Horizont trat in einer Tiefe von 10 cm bis 50 cm auf. Die Gefügeelemente waren bis zu 3 cm lang, nur 1-3 mm dick und dachziegelartig angeordnet. Die Gefügefragmente werden bei intensiver Durchwurzelung durch die Pflanzenwurzeln zusammengehalten. Je trockener der Boden und je weiter die Bodenentwicklung vorangeschritten war, desto kleiner und dünner waren die einzelnen Platten. In feuchtem Zustand kamen zusammenhängende Lagen mit gummiartiger Konsistenz vor. Diese spalteten bevorzugt an Schwächezonen, wie z.B. lithologischen Wechseln von feinkörnigem zu größerem Material.

III. Schrumpfungshorizont 2 aus Mudde mit verdichteten, größeren Aggregaten.

In diesem Horizont trat ein Plattengefüge mit Aggregaten von maximal 7 cm horizontaler und 5-10 mm vertikaler Ausdehnung auf. Die Platten waren dachziegelartig angeordnet und relativ fest miteinander verzahnt. Infolge der Primärschrumpfung hatte das Substrat eine steife, elastische Konsistenz. Die Festigkeit der horizontal lagernden Schichten verhindert ein vertikales Wachstum der Pflanzenwurzeln, es kommt zur Bildung von typischen Horizontalwurzeln.

IV. Schrumpfungshorizont 3, Polyeder, innerhalb der Polyeder Kohärentgefüge, Farbe und Festigkeit ähnlich unveränderter Mudde.

Der Horizont wird aus Polyedern von bis zu 50 cm Durchmesser gebildet. Innerhalb der Polyeder tritt Kohärentgefüge. Eine substratbedingte feinstratigraphische lithologische Wechsellagerung mit einer Schichtmächtigkeit von 1 und 3 mm trat auf beiden Untersuchungsflächen auf und wurde erst bei Austrocknen des Bodens sichtbar. In den Polyedern herrschten auf Grund des Luftmangels reduktive Verhältnisse. Manganausfällungen kamen nur in der Umgebung von Bioporen vor.

V. Horizont ohne pedogenetisch bedingten morphologischen Veränderungen

Hierbei handelt es sich um einen Reduktionshorizont, der permanent im Grundwasserbereich liegt und bisher nicht drainiert wurde. Möglicherweise weist er gegenüber liegenden Horizonten eine größere Trockenrohdichte auf, die durch die Vergrößerung der Auflast bei Entwässerung verursacht wird. Das primäre Kohärentgefüge ist unverändert erhalten. Seine Konsistenz ist weicher als die der hangenden Horizonte.

Die auf den folgenden Seiten abgebildeten Fotos zeigen die unterschiedlichen Ausprägungen von Detritusmudde sowie die charakteristischen Gefügemerkmale der Horizonte.



Abbildung 13: Detritusmudde der Untersuchungsfläche MILD, Tiefe: 24 – 36 cm

Zu erkennen sind zwei Horizonte. Der schwarzgefärbte obere Bereich gehört zum vererdeten Oberbodenhorizont (Horizont I). Dieser besteht aus Detritusmudde. Als Beimengung tritt Torf auf. Der hellbraune Bereich ist nicht vererdete, aber konsolidierte Detritusmudde (Horizont IV), hier in feingeschichteter Wechsellagerung mit Moosfasern, die die hellbraune Färbung hervorrufen. Zu erkennen sind die unregelmäßig verteilten, weiß gefärbten, Schnecken- und Molluskenreste, die eine infraaquatische Bildung belegen.



Abbildung 14: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 0 – 15 cm

In der Tiefe 0 – 5 cm tritt ein vererdeter Oberboden bestehend aus Detritusmudde auf (Horizont I). Darunter steht ebenfalls Detritusmudde an, die hier soweit pedogenetisch verändert ist, dass das Gefüge dem unter Horizont II beschriebenen entspricht. Zu erkennen sind feine, horizontal angeordnete Plättchen in lockerer Lagerung, die durch vertikale Risse unterbrochen werden. Die Plättchen werden durch Pflanzenwurzeln zusammengehalten. Die Farbe ist hellgrau-grünlich, ähnlich der Farbe von Phylit und ist durch einen höheren Schluffanteil sowie durch Haftnässe bedingt.



Abbildung 15: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIEETH, Tiefe: 15 – 20 cm

Pedogenetisch veränderter Horizont aus Detritusmudde mit krümeliger und plattiger Struktur (Horizont II). Die horizontal gestapelten Plättchen sind undeutlich zu erkennen. Die schwarze Färbung wird durch vererdete Torfpartikel hervorgerufen.



Abbildung 16: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 25 – 30 cm

Pedogenetisch veränderter Horizont aus Detritusmudde mit verdichteten größeren Aggregaten (Horizont III). Dieser Horizont ist nasser als der darüber liegende. Zu erkennen sind rostfarbene tapetenartige Eisenablagerungen auf den Aggregatoberflächen.

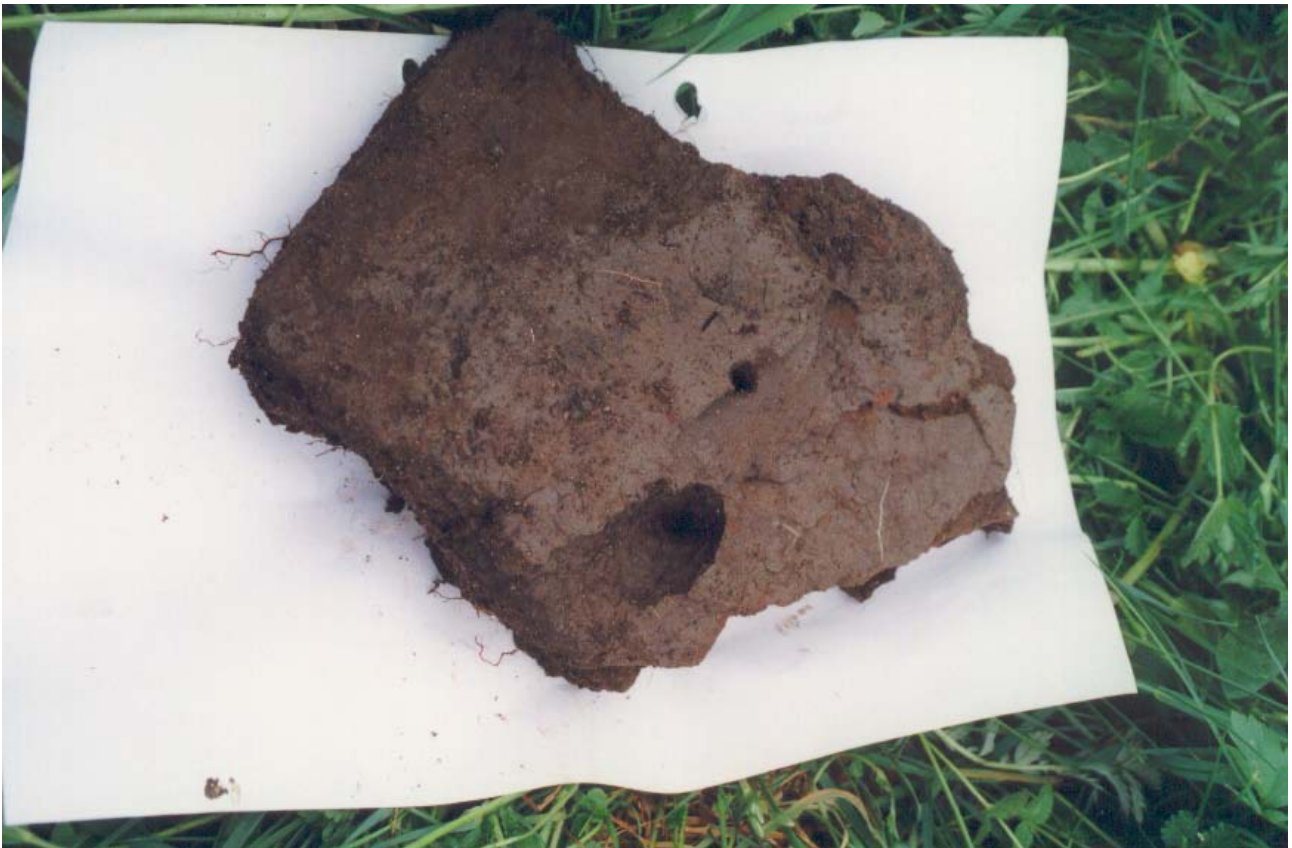


Abbildung 17: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 25 – 30 cm

Pedogenetisch veränderter Horizont aus Detritusmudde, hier durch eine Sandauflagerung stärker konsolidiert und von gummiartiger Konsistenz. Die beiden Löcher auf der Oberfläche sind Regenwurmgänge mit einem Durchmesser von ca. 0,5-1 cm. Wegen der Konsistenz der Mudde sind die Regenwurmgänge sehr stabil und werden sukzessive mit Lockermaterial aufgefüllt. In allen untersuchten Detritusmudden wurde ein hoher Besatz an Regenwürmer beobachtet. Auf der Aggregatoberfläche sind deutlich rostfarbene Eisenablagerungen zu erkennen.

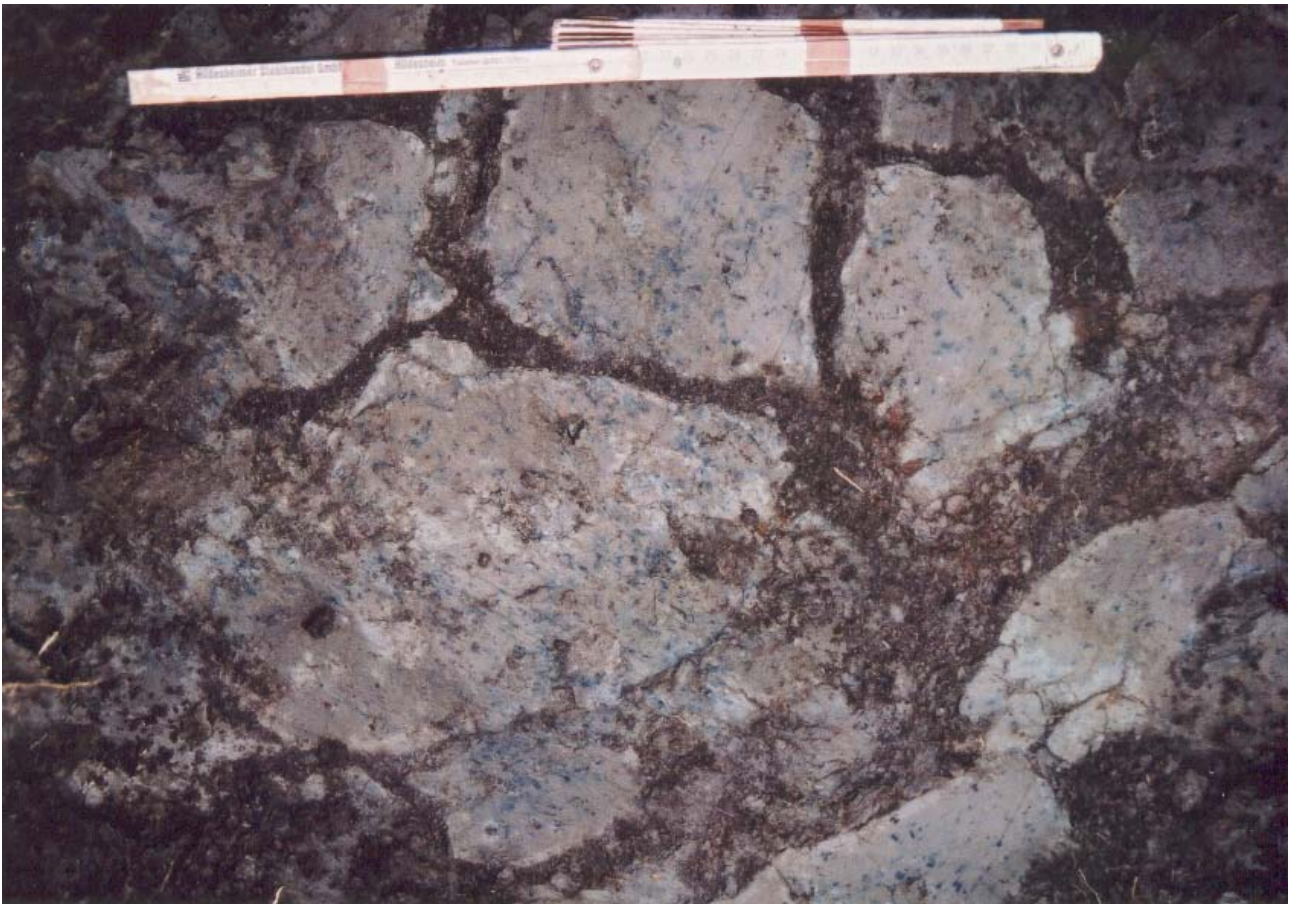


Abbildung 18: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 60 cm

Aufsicht auf die Oberfläche des Horizontes IV. Zu erkennen sind die bis zu 30 cm mächtigen Gefügekörper, die von Klüften begrenzt werden. Die Klüfte sind mit dem Material des Oberbodens aufgefüllt, das eine dunklere Farbe besitzt. Während in den Polyedern ein Kohärentgefüge auftritt, weist das Material der Klüfte meist ein Krümelgefüge auf. In den Polyedern herrschen reduktive Verhältnisse vor, die durch Haftnässe verursacht werden und an der grauen Färbung des Materials zu erkennen sind. Die blaugrauen Punkte sind Eisenverbindungen, die in der Umgebung von organischer Substanz bei reduzierenden Bedingungen entstehen. Hier könnten humifizierte Wurzeln die organische Substanz liefern. Z.T. handelt es sich aber auch um Manganoxide, die als „Hof“ um Bioporen ausgefällt wurden.



Abbildung 19: Detritusmudde der Untersuchungsfläche MILD, Tiefe: 35 – 75 cm

Die Detritusmudde ist hier von einer ca. 30 cm mächtigen Torfschicht bedeckt. Die Detritusmudde befindet sich im pedogenetischen Stadium des Horizontes IV, d.h. sie ist konsolidiert und zerfällt infolge von Schrumpfungsprozessen in einzelne Aggregate.

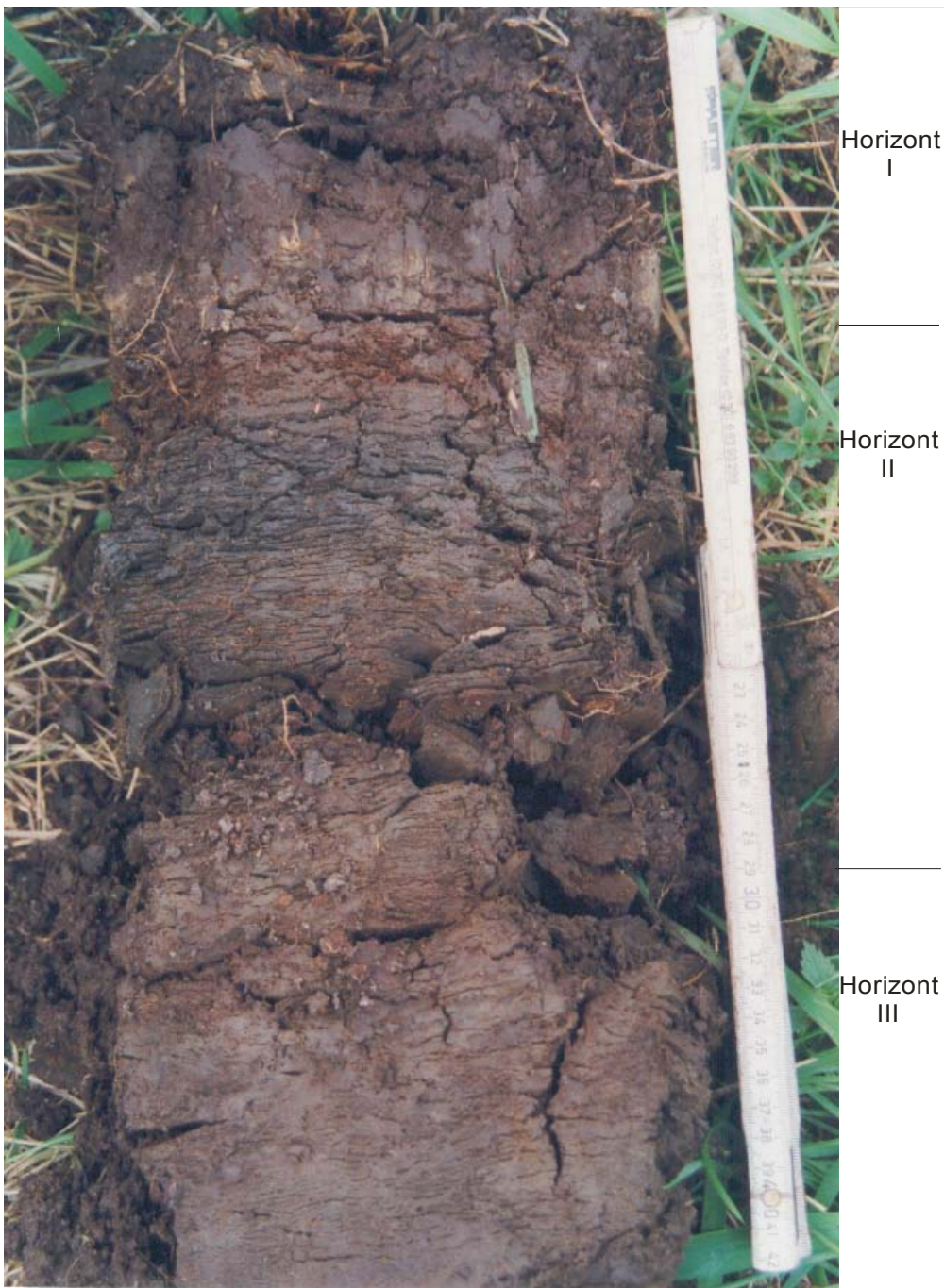


Abbildung 20: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH, Tiefe: 0 – 43 cm

Charakteristische Gefügebildung der Horizonte I, II und III in Detritusmudden. Zu erkennen sind folgende Horizonte:

- I. Vererdete Mudde
- II. Schrumpfungshorizont 1 aus Mudde mit lose zusammenhaltenden kleinen Aggregaten
- III. Schrumpfungshorizont 2 aus Mudde mit verdichteten, größeren Aggregaten



Abbildung 21: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH

Profilwand mit deutlich sichtbaren Reduktions- und Oxidationsmerkmalen (rechte Bildseite).

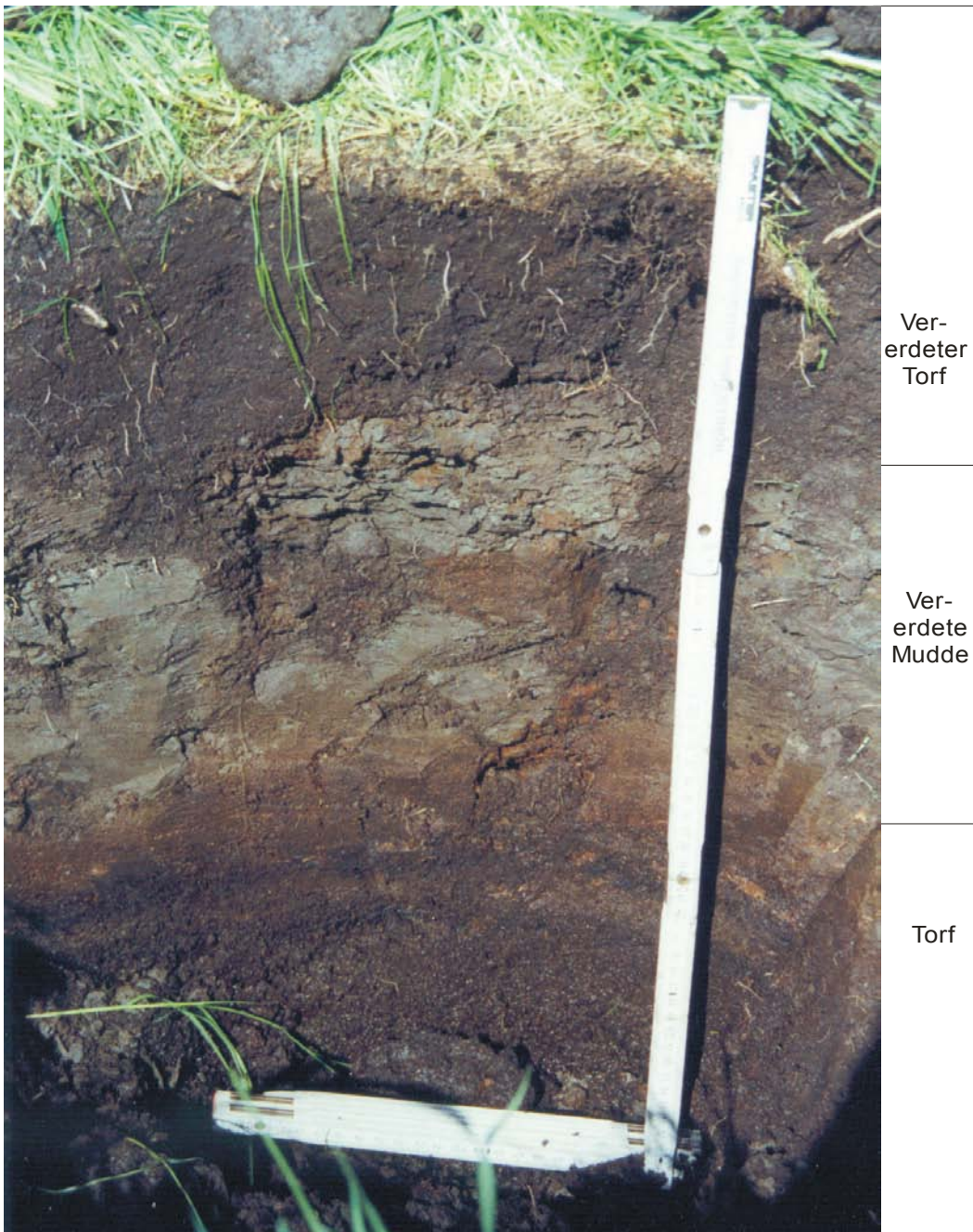


Abbildung 22: Detritusmudde der Untersuchungsfläche ZIETH

Profilwand eines Muddebodens in fortgeschrittenem pedogenetischem Stadium. Zu erkennen ist die Auflösung der ehemals kompakten Muddeschicht in Gefügekörper, die durch tiefreichende Schrumpfrisse gegeneinander abgegrenzt sind. Die Schrumpfrisse sind mit dem schwarzgefärbten Material des Oberbodens ausgefüllt. Vertikal verlaufende Klüfte, die entweder eine Folge der Materialschrumpfung sind oder durch Bodenlebewesen hervorgerufen wurden sind ebenfalls mit dem Material des Oberbodens aufgefüllt. Das Ergebnis der biogenen und physikalisch bedingten Turbationen ist ein stark gestörtes Profil.

4.2.2 Kalkhaltige Mudden und Kalkmudden

4.2.2.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz

Kalkmudden bestehen aus Kalziumkarbonat, organischer und mineralischer Substanz. Unter allen untersuchten Kalkmudden traten am häufigsten Mudden mit fein dispersen Kalkausfällungen auf, deren Kalke keine Struktur erkennen ließen.

Außerdem wurden Kalkmudden aufgefunden (JAG), die aus millimetergroßen Röhren mit kleinen zylinderförmigen Löchern bestanden und daher eine poröse Struktur aufwiesen. Dabei handelte es sich um inkrustierte Ästchen von Characeen, deren organische Substanz sich zersetzt hat und deren Ummantelung in Form einer Kalkkruste jetzt den Hauptbestandteil der Mudde bildete.

Als weitere Art der Kalkmudde trat so genannter Molluskenschill auf. Dabei handelt es sich um ein fast ausschließlich aus Schalenresten von Schnecken und Muscheln bestehendes Sediment. Die Schalenreste wiesen unterschiedliche Größen auf, die abhängig sind von der Artenzusammensetzung und der Art und Intensität der bisher erfolgten Umlagerung. Es kamen mit Molluskenschill angereicherte feine Kalkmudden vor. Bei größeren Humusgehalten waren die Schalenreste in eine breiig-flüssige meist dunkelbraune bis rotbraune, z.T. holzhaltige Mudde eingebettet.

Die Kalkmudden mit fein dispers verteilten Kalken waren oft weiß bis reinweiß. Bei reinweißen Formen handelte es sich um so genannte Seekreide. Die Characeenkalke wiesen eine schwach gelbliche Färbung auf, die wahrscheinlich von Eisenoxiden, die sich in der feinporösen Matrix abgelagert haben, herrührten. Basisnahe Mudden mit einem hohen Anteil an organischer Substanz waren schwarz. Rötliche und gelbliche Färbungen traten vor allem bei Kalkmudden mit elastischer Konsistenz auf, die auf die Anwesenheit von organischer Substanz (Algenreste) und Eisenoxiden schließen lässt.

Die untersuchten Kalkmudden waren häufig elastisch, ein hoher Gehalt an Molluskenschalen führte zu Brüchigkeit. Bei Austrocknung entstanden harte Klumpen, die sich zu einzelnen Körnern zerreiben ließen.

Kalkmudden mit feindispers verteilten Kalken wiesen im nassen Zustand ein Kohärentgefüge auf und waren von schmieriger Konsistenz. Sie besaßen keine oder nur wenige sichtbare durch Pflanzenwurzeln oder Regenwürmer entstandene Grobporen. Allerdings waren sie durch Risse und Klüfte gegliedert, die auf eine entwässerungsbedingte Schrumpfung zurückzuführen sind. Ihre Konsistenz war vom Feuchtigkeitsgehalt abhängig und war plastisch, steif, weich oder breiig.

Aus dem Skelett von Algen der Gattung *Characeae* (Armleuchteralgen) bestehende Kalkmudden wiesen zahlreiche, mit bloßem Auge erkennbare röhrenförmige Grobporen auf, die zu einer porösen Konsistenz führten. Auch diese Mudden waren je nach Feuchtigkeitsgehalt fest bis bröckelig.

Molluskenbruchstücke kamen in nahezu allen untersuchten Proben vor. Meist handelte es sich um scharfkantige Bruchstücke mit einer Größe im Millimeter- bzw. Zentimeter-Bereich, die mit bloßem Auge erkennbar waren. Bei massenhaftem Auftreten war das Sediment sehr locker und zerfiel ohne großen Druck in der Hand. Während dieser so genannte Molluskenschill vorwiegend aus kleinschaligen Arten bzw. aus Bruchstücken von Schalen aufgebaut ist, kamen auch Lagen von Teichmuscheln vor. Die Schalenhälften waren meist durch Eisenoxide vollständig ausgefüllt (z.B. JAG). Seltener kamen reinweiße Kalke mit hefeartiger Konsistenz vor, die meist einen äußerst hohen Karbonatgehalt besaßen. Der hohe Kalkgehalt bei niedrigem Anteil an organischer Substanz verlieh den Substraten einen schluffigen Charakter ohne Elastizität. Während Kalkmudden mit einem Anteil an organischer Substanz ab 10 Masse-% auch nach dem Trocknen einen Zusammenhalt aufwiesen, zerfielen die reinweißen Kalkmudden zu Staub.

Eine Besonderheit gegenüber den Kalkmudden im Jungmoränenland stellten die Kalkmudden, die sich in Auslaugungssenken innerhalb des Thüringer Beckens gebildet haben da. Aufgrund der hohen Gehalte an Kalziumkarbonat, die zwischen 13 und 24 Masse-% betrugen, handelte es sich um Kalkmudden. Der Hauptbestandteil aller Mudden, die auf den Flächen SIEB und WEISS untersucht wurden, waren allerdings Silikate der Korngrößenklassen Schluff und Ton (siehe Tabelle 26). Auf der Untersuchungsfläche WEISS kam überwiegend schwach schluffiger Ton (Tu2), mittel schluffiger Ton (Tu3) und schwach toniger Schluff (Ut2) vor.

Tabelle 26: Anteil der Korngrößen in Masse-% an der mineralischen Fraktion

Substrat	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS	U_gesamt	U+T
Fmu	32,8	19,3	18,8	12,3	11,0	4,6	1,3	50,4	83,1

Die Kolluvien, die die oberen 30 cm der Profile in WEISS ausmachten, bestanden aus mittel schluffigem Ton.

Sie waren von dunkelgraubrauner Färbung, die der Farbe der Oberböden der benachbarten Hänge entsprach. Dort waren Schwarzerden und Rendzinen bzw. Gley-Tschernitzen verbreitet. Die Färbung wurde von der organischen Substanz hervorgerufen, die mit den Bodenpartikeln aggregiert ist, wie es für den A-Horizont dieser Bodentypen charakteristisch ist. Die Glühverluste der kolluvial entstandenen Horizonte betrugen zwischen 10 und 20 Masse-%. Auch wenn man davon ausgeht, dass die Zerstörung von Magnesiumkarbonaten einen Teil der Glühverluste ausmachen, sind sie immer noch deutlich höher, als die für Schwarzerden typischen Gehalte, die bis zu 8 Masse-% erreichen (Rau, 1997). Zwei Gründe können für die Humusgehalte angeführt werden. Zum einen werden bei erosiven Prozessen vor allem die leichten Teilchen verlagert. Da Humus eine geringere spezifische Dichte hat als Silikate, wird dieser also bevorzugt verlagert. Allerdings ist die organische Substanz in den genannten Bodentypen primär mit der Feinschlufffraktion assoziiert (Kahle, 2002). Das bedeutet, dass bei der Erosion nicht allein organische Substanz erodiert wird, sondern die Schlufffraktion mit der an sie gebundenen organischen Substanz, verlagert wird. Der hohe Glühverlust, der über die für A-Horizonte terrestrischer Böden typischen Werte hinausgeht, deutet somit auf eine hydromorphe Entstehung hin. Eine große Menge an Schneckenschalen wies auf die limnische Akkumulation hin. Die Kolluvien gelangten also wahrscheinlich in den See, vermischen sich mit den seeinternen Produkten und kamen am Grund des Sees zur Ablagerung.

Unterhalb der „kolluvialen“ Kalkmudden lagen Kalkmudden, die ebenfalls einen hohen Anteil an Silikaten der Korngröße Schluff, aber einen etwas geringeren Anteil an organischer Substanz aufwiesen (8-10 Masse-%). In diese waren dunkelgraue faserreiche Lagen mit höherem C_{org} -Gehalt eingeschaltet (10-22 Masse-% organische Substanz). Hierbei handelte es sich wohl um Flachwassersedimente, in deren Entstehungszeit auf Grund der geringen Wassertiefe torfbildende Pflanzen siedelten, die sich in den Sedimenten akkumulierten.

Diese Schichten waren durchzogen mit Gipsabscheidungen ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) von 1-2 mm Durchmesser und mehreren Zentimetern Länge. Sulfat kann im Seewasser enthalten sein und ersetzt das Karbonat als Anion. Dabei kommt es zu einer syngenetischen Entstehung von Gips (vgl. Dean, 1999). Bei ariden bzw. semiariden Verhältnissen ist auch eine nachträgliche vertikale Verlagerung aus tieferen Bodenschichten möglich. Neben fein im Substrat verteilten Gipskristallen syngenetischer Entstehung, kamen auch Gipsabscheidungen in vertikal verlaufenden Poren (sekundäre Entstehung) vor. Selten traten schon in den Schluffkolluvien sekundäre Gipsabscheidungen auf.

Zum Teil trat das Kalziumsulfat mit besonders großer Reinheit kristallisiert in Form von so genanntem Marienglas auf (Hochleitner, 1996). Dabei handelt es sich um glasscheibenartige, dünne und spaltbare Gipsplatten. Der Name Marienglas entstand aus der Verwendung als Glasscheibenersatz für Reliquienbehälter. Das Vorkommen von Gips wird durch einen aufsteigenden Wasserfluss hervorgerufen, der durch hohe Verdunstungsraten verursacht wird. Dabei werden gelöste Kalzium- und Sulfationen aus tieferen Schichten mit dem Kapillarwasserstrom nach oben transportiert. Infolge der Verdunstung werden die Salze ausgefällt.

4.2.2.2 Organische Substanz und pH-Werte

Alle Kalkmudden waren mit pH-Werten gleich oder größer als 7 neutral bzw. überwiegend alkalisch. Mudden mit Humusgehalten zwischen 0 und 30 Masse-%, also die organo-mineralischen Mudden, machen mit 61 % mehr als die Hälfte aller untersuchten Proben aus. Darin eingeschlossen sind sowohl Kalk- als auch Silikatmudden.

4.2.2.3 Kalziumkarbonatgehalte und -arten

49 % der Proben hatten einen Kalziumkarbonatgehalt von weniger als 10 Masse-%, davon hatten 95 % der Proben weniger als 5 Masse-% (vgl. Tabelle 27). Im Bereich zwischen 10 und 70 Masse-% liegt eine nahezu gleichmäßige Häufigkeitsverteilung vor. Zwischen 70 und 90 Masse-% tritt ein Häufigkeitsmaximum auf.

Tabelle 27: Probenanzahl (eine Probe entspricht einer Schicht) nach Kalkgehalts-Klassen

Klasse $CaCO_3$ in Masse-%	Anzahl	Prozente
< 10	131	48,9
10 bis < 20	15	5,6
20 bis < 30	12	4,5
30 bis < 40	10	3,7

40 bis < 50	9	3,4
50 bis < 60	11	4,1
60 bis < 70	10	3,7
70 bis < 80	24	9,0
80 bis < 90	33	12,3
> 90	13	4,9
Gesamt	268	100,0

Nach der Häufigkeitsverteilung der Gehalte an Kalziumkarbonat lassen sich somit drei Gruppen ausweisen:

- Gruppe 1 = 0-5 Masse-%
- Gruppe 2 = 5-70 Masse-%
- Gruppe 3 = 70-90 Masse-%.

Auf der Basis der Faktoren Kalkgehalt und Entstehungsart, werden im Folgenden Gruppen (Kalkgehalt) und Typen (Entstehungsart) unterteilt, die in einem Vorschlag für die Substratklassifikation verwendet werden (siehe Kapitel 8).

Gruppe 1

Typ 1: Vereinzelt in den Sedimenten auftretende Molluskenschalen führen zu geringfügigen Kalkgehalten. Hierbei ist das Kalziumkarbonat nicht gleichmäßig verteilt, wie es bei präzipitativ entstandenen Kalken der Fall ist, sondern er kommt in im Sediment unregelmäßig verteilten Anhäufungen der Schalenreste von Mollusken vor.

Typ 2: Bei Typ 2 in Gruppe 1 handelt es sich um Detritusmudden bzw. oftmals um im Verlandungsbereich eines Sees entstandene torfhaltige Mudden, die nur als eine geringmächtige Schicht darunter liegende Kalkmudden überdeckten. Diese entstanden auf landwirtschaftlich genutzten und gepflügten Flächen, auf denen die obere Schicht der Kalkmudde infolge von Bodenbearbeitung zerstört und Aggregate in die darüber liegende Torfschicht eingearbeitet wurde.

Typ 3: Mudden mit sehr geringen Glühverlusten und Kalkgehalten und hohen Ton- und Schluffgehalten kamen auf Flächen vor, deren Einzugsgebiete durch Erosion geprägt sind, wodurch mineralisches Material mit dem abfließenden Wasser in den See bzw. auf die Flächen gelangte. Dieser Typ trat auf den zwei Untersuchungsflächen in Thüringen auf.

Gruppe 2

Typ 1: Die Mudden mit geringeren Kalkgehalten in Gruppe 2 entsprechen der Bildung nach dem Typ 2 aus Gruppe 1. Ein Sonderfall trat auf der Fläche ZIETH auf, hier wurde künstlich Mergel zur Bodenverbesserung aufgetragen, was zu Kalkgehalten zwischen 15 und 20 Masse-% führte. Die Mergelschicht ließ sich recht deutlich von den liegenden und hangenden Schichten abgrenzen.

Typ 4: Bei etwa 10 Schichten bestand die Kalkmudde fast ausschließlich aus Molluskenschill. Dabei handelt es sich um Schalen sowie Bruchstücke derselben von Kalkschalen tragenden Organismen, überwiegend Schnecken und Muscheln, die durch seeinterne Strömungen in Stillwasserbereichen zusammengespült werden. An Molluskenschill reiche Mudden kommen in zwei Ausprägungen vor: Zum einen als reiner Schill, eingebettet in eine Matrix von organischer Substanz, die meist mehr oder weniger flüssig ist. Dieses Substrat ist strukturlos, die Schalenreste liegen lose nebeneinander. Eine andere Variante sind in eine Matrix aus Kalziumkarbonat eingebettete Schalenreste. Das Substrat weist ein Kohärentgefüge auf. Mit steigendem Anteil an Schalenresten wird das Sediment lockerer und brüchiger.

Typ 5: Auf einer Fläche wurden Characeenkalke anhand der zylinderförmigen Struktur der Bestandteile identifiziert. Die Zylinder wiesen eine Größe von 0,5 bis 2 mm auf und hatten in der Mitte ein Loch. Das Loch ist die Stelle, wo sich während der Sedimentation der Characeen-Stängel befand, der später verweset ist. Das Substrat hatte eine Feinsandähnliche Struktur, haftete im nassen Zustand aneinander, und lies sich im trockenen Zustand wie Feinsand zerreiben. Wegen der im Gewässer möglichen Rücklösungsprozesse kann es sein, dass außer den eindeutig als Characeenkalke identifizierten Kalkmudden noch andere Mudden Characeenreste enthalten oder eben enthielten, nur das die Characeenskelette dort der Auflösung ausgesetzt waren.

Gruppe 3

Visuell unterscheidbar traten bei Kalkmudden mit extrem hohen Kalkgehalten zwei Typen auf, die sich vor allem in ihrer Konsistenz unterschieden.

Typ 6: Gallertartige, meist rosa oder hellgelb gefärbte Kalkmudden

Typ 7: Schneeweiße Kalkmudden von im trockenen Zustand pulveriger Konsistenz.

In Tabelle 28 sind die Durchschnittswerte der Kalkgehalte für alle Untersuchungsflächen angegeben.

Die geringen Kalkgehalte sind ausschließlich in den Decktorfschichten zu finden, so dass deren Kalkgehalt deutlich geringer ist als der des darunter liegenden Horizontes. Dieser Fall trat bei 21 von 34 Profilen auf, davon wiesen 18 Profile weniger als 25 Masse-% und 10 Profile weniger als 50 Masse-% Kalziumkarbonat im ersten gegenüber dem zweiten Horizont auf.

Tabelle 28: Flächenbezogene Kalkgehalte

Fläche	dominierende Muddeart	n	Mittelwert Masse-%	Standardfehler Masse-%
DOBB	Kalkmudde	42	65,06	3,52
JAG	Kalkmudde	26	55,62	6,68
MOS	Kalkmudde	8	54,76	11,18
OB	Kalkmudde	25	65,24	5,24
RHIN	Kalkmudde	18	62,17	9,87
ZEH	Kalkmudde	11	48,76	8,47
SIEB	Kalkmudde	7	47,16	3,23
WEISS	Schluffmudde	15	16,85	3,44
MILD	Detritusmudde	33	3,53	1,08
ZIETH	Detritusmudde	40	1,39	0,51
DM	Diatomeenmudde	15	3,52	3,43

Kalziumkarbonatgehalte über 50 Masse-% scheinen für Mudden im nord- und mitteleuropäischen Jungmoränenland charakteristisch zu sein. So wiesen tatsächlich nahezu alle Mudden, deren Kalziumkarbonat syngenetisch zur Akkumulation kam, also präzipitative Kalke und Characeenkalke, einen Gehalt von mehr als 50 Masse-% auf. Im Unterschied dazu ergaben Untersuchungen aus Sibirien deutlich geringere Kalkgehalte von maximal 36 Masse-% (Bogatov, 1985).

4.2.2.4 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung

Bei den Kalkmudden dominierten hellgraue, beige bis rötliche Farbtöne, die durch reduzierte und oxidierte Eisenverbindungen hervorgerufen wurden. Auf Aggregatoberflächen bildeten sich tapetenartige rostrote Beläge. Einige Profile der Untersuchungsfläche DOBB zeigten eine durchgehende hellrostrote Färbung (vgl. Grunert, 2002). Eisenoxidadlagerungen an den Wänden von Klüften und Hohlräumen sowie inkrustierte Molluskenschalen, wie z.B. eine in einem Profil der Untersuchungsfläche JAG aufgefundene vollständig mit rostrotem Eisenoxid erfüllte Teichmuschelschale, belegen deren Funktion als Leitbahnen für den nichtkapillaren Wasser- und Gasfluss.

Rund 90 % der untersuchten Profile wiesen einen Oberbodenhorizont aus vererdetem Torf auf. Infolge von Bodenbearbeitung waren Kalkmuddeaggregate der liegenden Kalkmuddeschichten nach oben befördert und in den Oberbodenhorizont eingearbeitet worden (JAG, RHIN, MOS). Folgende Horizonte (nach Bodenkundlicher Kartieranleitung, 1994) kamen vor: nH-c/eGo, c/eGro, c/eGor, c/eGr.

Auf den beiden Untersuchungsflächen im Thüringer Becken, WEISS und SIEB, traten zwei Formen der Hydromorphie mit den entsprechenden Oxidations- und Reduktionsmerkmalen auf.

A. Die Kolluvien waren z.T. sehr dicht, so dass sich Stauwasserhorizonte (Sd) ausbildeten. Die Ursache dafür ist neben dem hohen Tongehalt in der Bodenbearbeitung und der dabei entstehenden Unterbodenverdichtung (Ausbildung einer Pflugsohle) zu suchen. Oberhalb des Stauhorizontes lag der durch Bodenbearbeitung gelockerte Oberbodenhorizont, der als Stauwasserleiter (Sw) fungierte.

B. Da es sich bei beiden Flächen um Niederungen handelte, waren die Grundwasserstände im Vergleich zu den umliegenden Böden hoch. Sie lagen zwischen 90 und 120 cm unter Flur. Die Substrate beider Flächen wiesen auf Grund ihrer Textur eine starke Kapillarität auf, so dass der Kapillarsaum und damit die wassergesättigte Zone, wahrscheinlich höher als der zum Zeitpunkt der Profilaufnahme festgestellte Grundwasserstand lag. Die Oxidationshorizonte (Go) begannen in ca. 70 cm Tiefe.

Kalkmudden waren im nassen Zustand kohärent und besaßen eine schmierige Konsistenz. Bei Austrocknung entstanden harte Klumpen, die sich zu einzelnen Körnern zerreiben ließen.

Infolge der Entwässerung kam es auf allen untersuchten Flächen durch Schrumpfung und Sackung zur Ausbildung eines Sekundärgefüges und zu Einbrüchen mit scharfkantigen Grenzen (siehe Abbildung 23). Dabei entstanden Gefügekörper mit vertikal und horizontal verlaufenden 1-10 cm breiten und 150 cm tiefen Klüften und Rissen, die teilweise mit Material des Oberbodens verfüllt waren und ansonsten mit Luft bzw. Wasser erfüllte Hohlräume waren.

Hohlräume wurden auch durch meist vertikal liegende, gröbere Pflanzenreste, wie z.B. Anhäufungen von Schilfrhizomen, vertikal verlaufende Wurzeln und Wurzelbahnen oder schon während der Sedimentation entstandene körnungsbedingte Grenzflächen gebildet. Unterhalb der maximalen Entwässerungstiefe war der Boden immer wassergesättigt, so dass dort schrumpfungsbedingte Gefügeformen nicht auftraten.

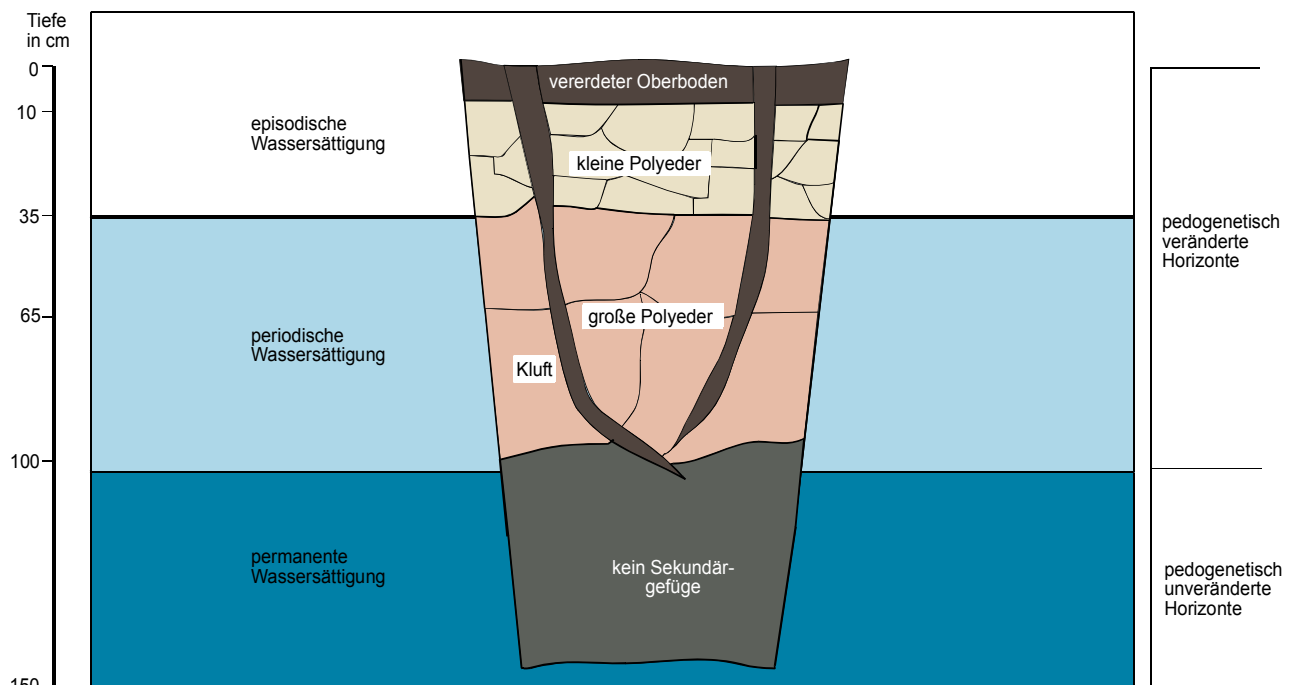


Abbildung 23: Schematische Darstellung der Horizonte in Böden aus Kalkmudden

Folgende Horizonte sind charakteristisch für Kalkmudden:

I Oberbodenhorizont: Der Oberbodenhorizont wird einem Mischsubstrat aus Mudde und Torf gebildet. Charakteristisch sind klumpige Muddeaggregate, die bis zu 5 cm groß sind. Diese sind in eine Matrix von stark zersetztem Torf integriert.

II Schrumpfungshorizont: Dieser Horizont besteht aus Aggregaten. Er weist ein unregelmäßige Polyedergefüge auf. Diese sind unterschiedlich groß. Charakteristisch sind intensive Eisenausfällungen, die als Tapeten auf den Polyedern auftreten bzw. Makroreste, wie z.B. Muscheln und faserreiches Material vollständig ausfüllen. Innerhalb der Polyeder kommen auch reduktive Verhältnisse vor, was sich an nassgebleichten hellen Flecken zeigt. Das Flächenverhältnis zwischen Reduktions- und Oxidationsmerkmalen wird von der Größe der Primärteilchen bestimmt und muss vor Ort abgeschätzt werden.

III Konsolidierungshorizont: Der Konsolidierungshorizont weist ebenfalls ein Polyedergefüge auf. Die Polyeder sind größer als im darüberliegenden Horizont. Innerhalb der Polyeder tritt das für pedogenetisch unveränderte Mudden charakteristische Kohärentgefüge auf.

IV Gallerthhorizont: Dieser Horizont weist keine pedogenetisch bedingten morphologischen Veränderungen auf. Es handelt sich also um das Ausgangsmaterial, das sowohl seine ursprüngliche Farbe als auch seine ursprüngliche Konsistenz besitzt. Auch hier wird der Begriff Gallerthhorizont vorgeschlagen.

Auf den folgenden Seiten sind Fotos von Kalkmudden abgebildet, die wesentliche morphologische Merkmale von Substraten und Böden zeigen und das Spektrum der auftretenden Ausprägungen verdeutlichen.



Abbildung 24: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN, Tiefe: 60 – 70 cm

Kalkmudde im ursprünglichen Zustand, also nicht pedogenetisch verändert. Der Gehalt an Kalziumkarbonat liegt bei rund 80 Masse-%. Als Beimengungen sind vereinzelt Schneckenreste und Reste von Pflanzen zu erkennen. Die Mudde ist rötlich-beige gefärbt und von schwarzen und nassgebleichten hellgrauen Reduktionsflecken durchzogen.



Abbildung 25: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN, Tiefe 25 – 40 cm

Durch wechselnde Grundwasserstände pedogenetisch veränderte Kalkmudde.

Tiefe Grundwasserstände haben zur Schrumpfung und Aggregatbildung geführt. Dadurch sind Risse und Klüfte entstanden, die zum Teil mit Material des Oberbodens verfüllt und zum Teil hohl sind. An den Aggregatoberflächen haben sich tapetenartige rostrote Eisenoxide abgelagert.



Abbildung 26: Kalkmudde der Untersuchungsfläche RHIN

Profilwand eines Gleys aus Kalkmudde. Der Oberboden besteht aus vererdetem Torf, darunter steht der Go-Horizont an, zu erkennen an seiner rötlichen Färbung. Am Boden des Profils beginnt der Gr-Horizont, der geprägt ist durch eine graue Farbe.

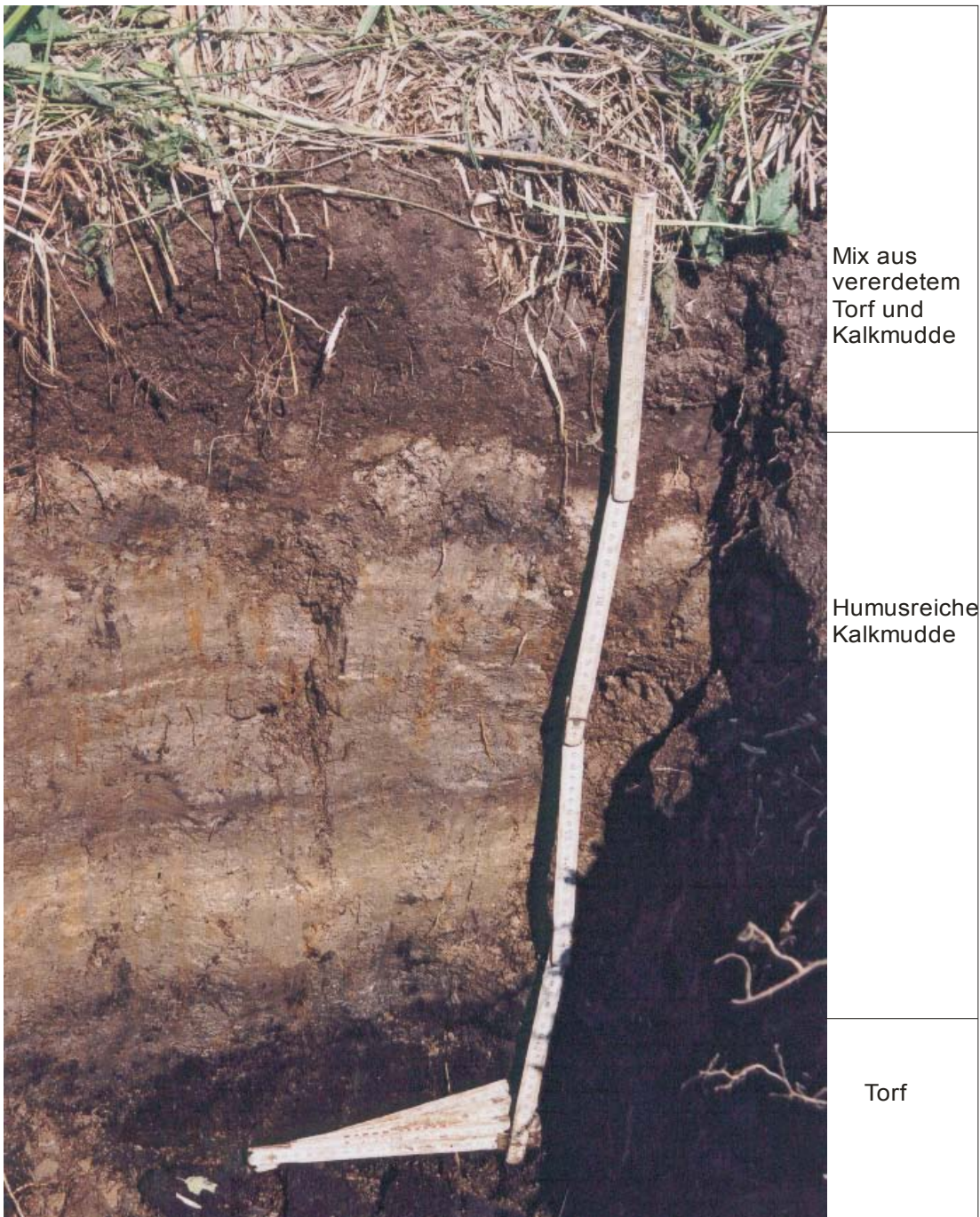


Abbildung 27: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche ZEH

Profilwand an der die Schichtung von Substraten mit unterschiedlichem Humusgehalt, vertikal verlaufende Schrumpfrisse sowie Rostflecken deutlich zu erkennen sind. Die Rostflecke zeichnen Schwächezonen nach, die als bevorzugte Wasser- und Luftleitbahnen fungieren.



Abbildung 28: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche JAG, Tiefe: 0 – 50 cm

In diesem Profil traten besonders stark ausgeprägte Eisenausfällungen an der Grenze zwischen Mudde und Torf auf. Möglicherweise fungiert die Mudde als Stauschicht auf der das Wasser entlangfließt.



Abbildung 29: Humusreiche Kalkmudde der Untersuchungsfläche ZEH, Tiefe: 16 – 30 cm

Turbation durch Bodenorganismen sowie Schrumpfungs- und Quellungsprozesse haben hier die Vermischung von Schichten mit hohem und geringerem Humusgehalt bewirkt. Dadurch kommt es zu einer Marmorierung des Horizontes. Zu erkennen ist außerdem die Rostfleckigkeit des Profils.

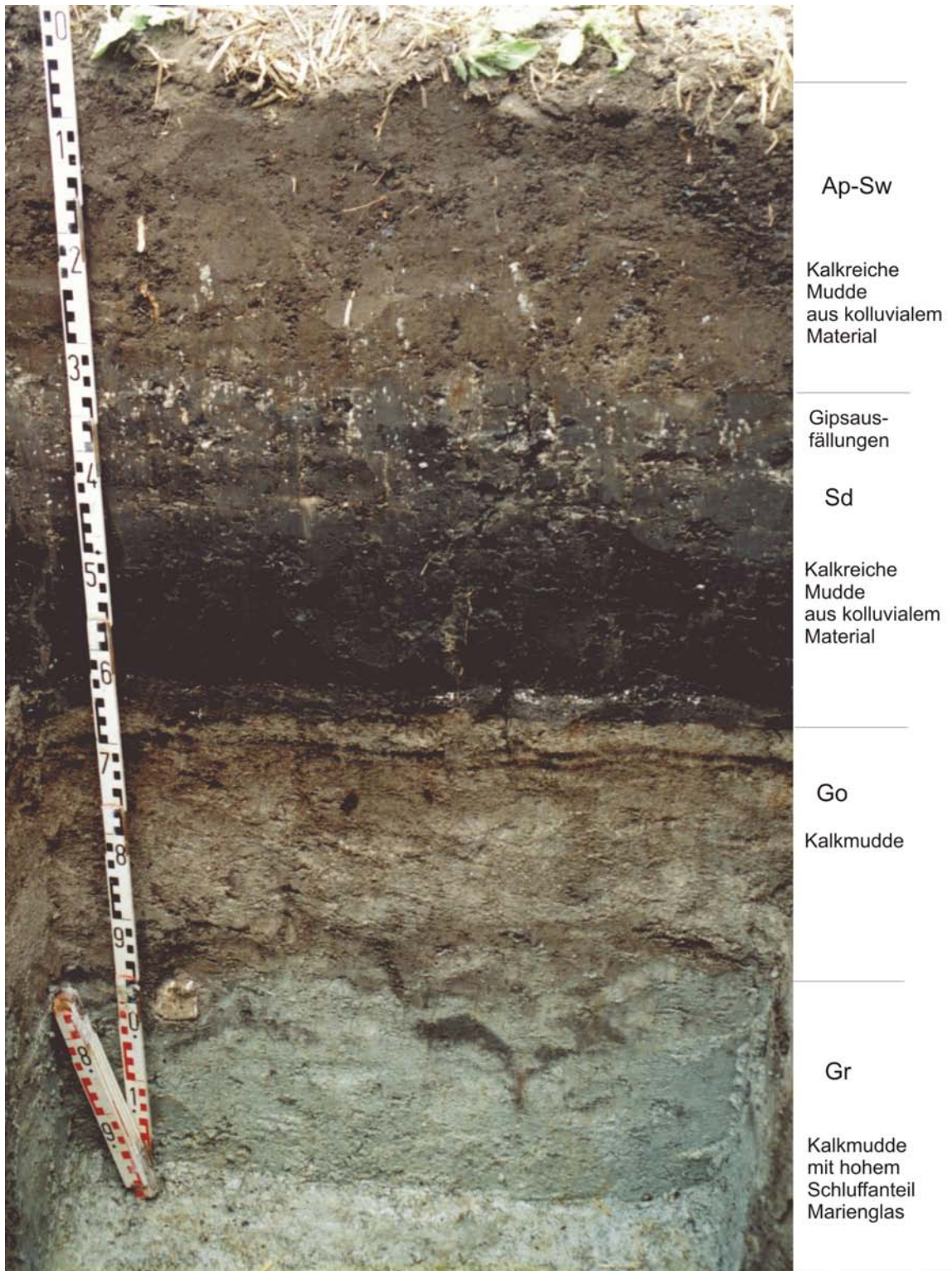


Abbildung 30: Kalkmudden mit hohem Schluff- und Tongehalt der Untersuchungsfläche WEISS

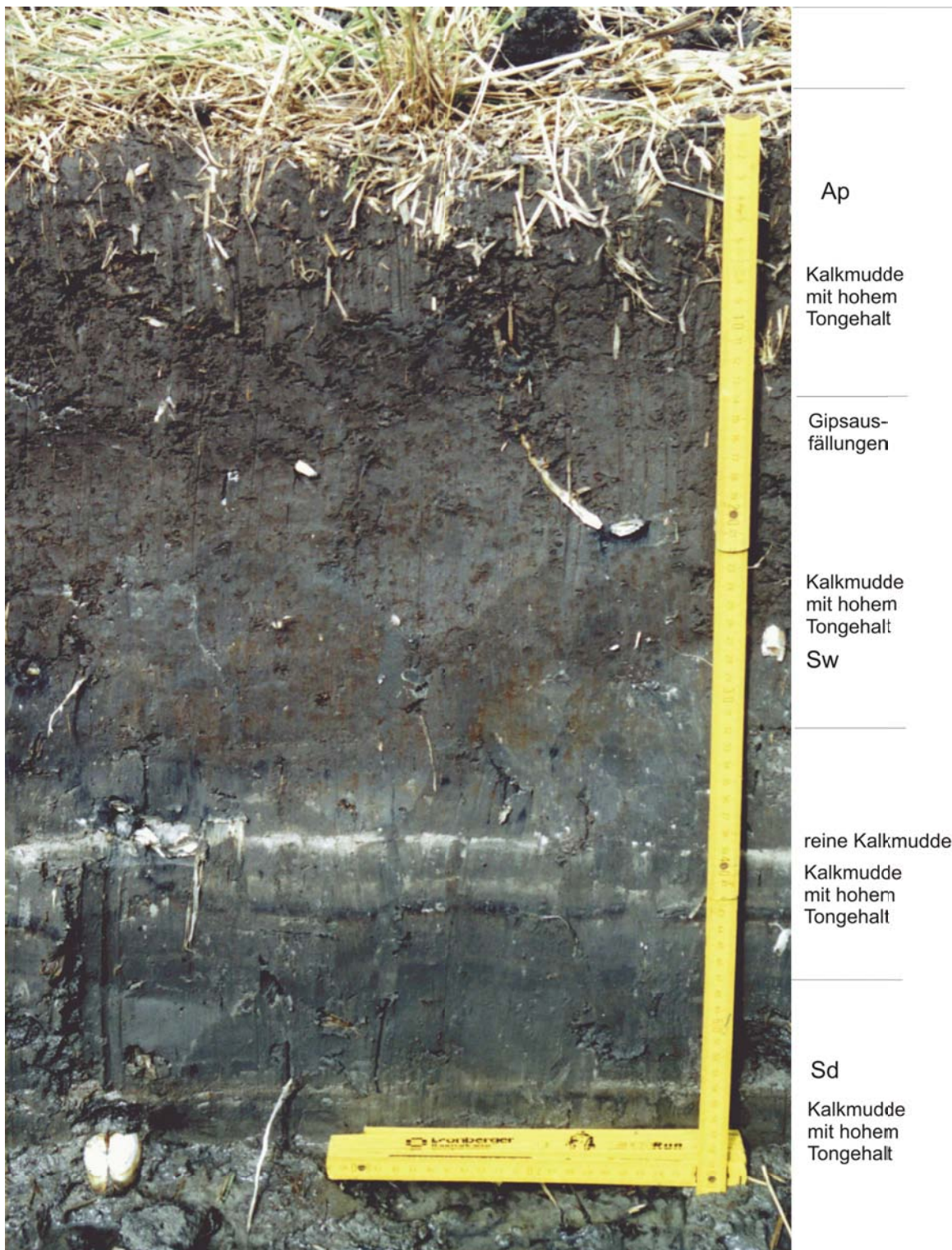


Abbildung 31: Kalkmudden mit hohem Schluff- und Tongehalt, Untersuchungsfläche WEISS

4.2.3 Diatomeenmudden

4.2.3.1 Bestandteile, Farben und Konsistenz

Die Diatomeenmudden waren hellbraun bis olivgrün (Untersuchungsfläche DM), graublau (Untersuchungsfläche KLIEK), ockergelb (Untersuchungsfläche KLIEK) und reinweiß (Untersuchungsflächen DM und KLIEK).

Diatomeenschalen selbst sind weiß bis transparent durchscheinend. Färbungen des Sediments werden durch Beimengungen, wie z.B. organische Substanz und Eisen- und Manganoxide, erzeugt. Hellbraune und olivgrüne Färbungen kamen von der organischen Substanz, graublaue, ockergelbe und rötliche Färbungen von Oxiden. Weiße Färbungen traten bei großem Reinheitsgrad und ausschließlich bei Diatomeenmudden oberhalb des Grundwasserspiegels auf (vgl. Maczey und Chmielecki, 2003). Dabei war die organische Substanz aus der Gallerthülle der Kieselalgen sowie anderer Wasserpflanzen und Algen durch Mineralisierungsprozesse entfernt, so dass die reinweiße Farbe der aus Siliziumdioxid („Bioopal“) bestehenden Mudden dominierte. In einigen Schichten war Kieselgur mit größerem Anteil an Diatomeen, die sich durch eine hellere Farbe von ihrer Umgebung abhoben, linsenartig in Diatomeenmudde mit geringerem Diatomeenanteil eingebettet, (Untersuchungsfläche DM, Profil DM7/1, DM8/2). Dabei handelte es sich wahrscheinlich um mit der Wasserströmung verfrachtete Bruchstücke von Kieselgur.

Die mittlere Größe von Süßwasserdiatomeen liegt im Bereich zwischen 2 und 63 µm und entspricht damit der Korngröße von Schluff. Die Korngrößenanalyse ergab für alle Diatomeenmudden die höchsten prozentualen Anteile in der Schlufffraktion (siehe Tabelle 29) (vgl. auch Maczey und Chmielecki 2003).

Tabelle 29: Korngrößenverteilung der Diatomeenmudden der Untersuchungsflächen DM und KLIEK

Probe	gS %	mS %	fS %	gU %	mU %	fU %	T %	Diatomeengehalt (mU+fU) %	KA4
DM1/rF-Go	0,12	0,31	9,4	32	40,1	13,4	4,7	53,4	Uu
DM1/rFo	0	0,9	7,7	13,2	39,9	24,2	14	64,1	Ut3
DM2/rF-Go1	0,03	4,9	12,5	17,1	52	10,5	2,7	72,5 (70) ¹	Us
DM2/rF-Go2	0	0	3	11,7	49,3	23,2	12,8	62,2 (73) ¹	Uu
DM4/rF-Go	0	0	4,9	22,7	42,9	20,7	8,7	63,6	Ut2
DM4/rF-Gr	7,35	10,1	16,9	28,8	23,9	9,5	3,5	33,4	Us
DM5/rF-Go	0,6	1,1	10,5	28,4	36,5	17,1	5,8	53,6	Uu
DM8/rF-Gor1	1,6	1,8	6,8	21	37,2	22,8	8,7	60	Ut2
DM8/rF-Gor2	2	1,6	8,8	29,3	37,3	15,5	5,5	52,8	Uu
DM8/rF-Gro	0,6	1,1	11	32	36,7	14	4,7	50,7	Uu
KLIEK1	0,8	0,9	3,7	16,3	34,3	35,7	8,2	70,4	Ut2
KLIEK6	1,1	5,1	16,8	32,6	27,1	10,6	6,6	37,7	Us
KLIEK7	0,8	4	22,8	36,2	22,6	9,5	4,2	32,1 (40) ¹	Us

¹ Die Werte in Klammern geben die durch Röntgendiffraktometrie ermittelten Opalgehalte wieder.

Diatomeenschalen besitzen eine Vielzahl kleiner Poren, die eine hohe Porosität der Sedimente verursachen. Die Porosität der Schalen sowie die Substratporosität auf Grund der Korngröße bewirken, dass Wasser in den Schalen selbst sowie in den Poren zwischen den Schalen gehalten wird. Ein hoher Anteil an Diatomeenresten führte somit zu einer hohen Feldkapazität, wobei sich das Sediment trotz großer Wassergehalte nie nass anfühlte. Auch bei Wassersättigung zerbrachen Diatomeenmudden regelrecht mit scharfen Bruchflächen. Die Diatomeenmudden waren im feldfrischen Zustand plastisch, nie elastisch und ergaben in der Hand ein Gefühl wie feuchter Schluff und eine Konsistenz wie Hefe. Sie trockneten im Vergleich zu Detritusmudde sehr schnell, trockneten auch schneller als Kalkmudde. Dabei verloren sie sehr stark an Gewicht und ließen sich zu feinem Pulver zerreiben. Diatomeenmudden mit einem Anteil an

Diatomeenschalen über 10 % waren in trockenem Zustand mehlig.

4.2.3.2 Organische Substanz und pH-Werte

Etwa 50 % der untersuchten Diatomeenmudden lagen im Grenzbereich zu den organischen Mudden, besaßen also nahezu 30 Masse-% organische Substanz (vgl. Maczey und Chmielewski, 2003). Der Gehalt an organischer Substanz nahm tendenziell mit der Tiefe zu, was sowohl geogenetisch, durch verschiedene Akkumulationsmilieus, als auch pedogenetisch, durch Mineralisierung der organischen Substanz infolge von Luftzufuhr nach Entwässerung und durch verschiedene Wassergehalte verursacht wird. Die in der Altmoränenlandschaft vorhandenen Diatomeenmudden wiesen allesamt pH-Werte unter 5 auf, zwei Profile sogar pH-Werte unter 4 und waren damit sehr stark sauer bis mäßig sauer (nach Bodenkundlicher Kartieranleitung, 2005). Bezüglich der vertikalen pH-Verteilung in Diatomeenmuddeböden zeigte sich auf den ersten Blick keine übereinstimmende Abfolge bei den Profilen. Bei drei Profilen nahm der pH-Wert vom ersten zum zweiten Horizont ab. Bei dreien nahm er zu und bei einem Profil ergab sich keine pH-Änderung. Allerdings ergab sich eine vom Flächennutzungstyp abhängige Abnahme mit der Tiefe auf den gegenwärtig landwirtschaftlich genutzten Flächen.

Die horizontbezogenen gemittelten pH-Werte zeigen eine Tiefenzonierung durch einen mit der Tiefe zunehmenden pH-Wert (siehe Tabelle 30), was einer Versauerungstendenz der oberen Horizonte entspricht.

Tabelle 30: Horizontbezogene Mittelwerte von pH-Wert, Karbonatgehalt und Glühverlust

Horizont	1	2	3	4	5	6
Mittlerer pH-Wert (alle Horizonte)	6,65 (n=64)	6,8 (n=65)	6,87 (n=57)	7,06 (n=48)	7,34 (n=29)	7,4 (n=14)

Damit vollziehen sich auch in den Muddeböden, die von anderen Böden bekannten Versauerungsprozesse infolge von mikrobieller Aktivität und CO₂-Abgabe von Pflanzenwurzeln, Auswaschung von basisch wirkenden Kationen mit dem nach unten gerichteten Wasserstrom und die Freisetzung von H⁺ bei der Umwandlung von Sulfiden zu Sulfaten unter aeroben Verhältnissen.

4.2.3.3 Bodenhorizonte, hydromorphe Merkmale und Gefügebildung

Hydromorphe Merkmale in Form von Rostflecken waren in allen Profilen deutlich im ersten und zweiten Horizont bis in eine Tiefe von ca. 60 cm ausgeprägt. In diesen durch wechselnde Wasserstände gekennzeichneten Horizonten dominierten hellrostfarbene oxidierte Verbindungen, die auf einen schwachen Kristallisationsgrad infolge sich häufig verändernder Redoxverhältnisse hinwiesen (Farben eh1-4, ed1-4, es1, rb2, rg3, rs2). Die Eisenverbindungen könnten aus, während der Entstehung der Diatomeenmudde gebildeten Eisen-Schwefel-Verbindungen resultieren.

Die Diatomeenmudde wurde mit Beginn des Subatlantikums abgelagert (Dahms, 1972, zitiert in Maczey und Chmielewski, 2003). Die Entstehung von Diatomeenmudde ging eventuell einher mit der Versauerung der umliegenden Böden, so dass niedrige pH-Werte zur Verwitterung und Lösung von eisenhaltigen Mineralen der Böden und zu deren Verlagerung führten. Infolge von Verlandung, Eindeichung und oberflächennahem Vorkommen wurden diese oxidiert und als Eisenoxihydrate ausgefällt bzw. mit dem Grundwasserstrom verlagert. Profil DM3 lag im Bereich einer archäologischen Aufgrabung, so dass der gesamte Boden umgelagert war. Die etwas tiefere Lage und ein durch die Grabung gestörte Lagerung (Schwächezone) führten zu einem hohen Wasserstand, so dass das gesamte Profil rostrot gefärbt war.

Diatomeenmudden hatten als Primärgefüge sowohl im nassen als auch im trockenen Zustand ein Kohärentgefüge. Getrocknete Proben ließen sich zu einzelnen Körnern zerreiben. Eine sekundäre Gefügebildung infolge von Schrumpfung und Sackung war bis auf oberflächige Trockenrisse nicht zu beobachten. Möglicherweise ist die Art der Porosität und Wasserspeicherung, die vor allem durch die Poren der Schalen realisiert wird (Maczey und Chmielewski, 2003) dafür verantwortlich, dass es bei Wasserverlust nicht zu einer Schrumpfung der Bodenmatrix kommt. Im Profil DM3 kam verursacht durch die hohen Eisengehalte ein Kittgefüge vor.

Die auf den folgenden Seiten abgebildeten Fotos zeigen charakteristische Substrat- und Bodenmerkmale der Diatomeenmudden der verschiedenen Untersuchungsflächen.



Abbildung 32: Diatomeenmudden der Untersuchungsfläche DM

Die unterschiedlichen Farben der Diatomeenmudden werden durch unterschiedliche Humusgehalte hervorgerufen. Die Probe links im Bild hat einen Humusgehalt von 25 Masse-%, während die Probe rechts im Bild fast ausschließlich aus Diatomeenresten besteht und einen Humusgehalt von 6 Masse-% hat.



Abbildung 33: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM

Hierbei handelt es sich um eine feldfrische Diatomeenmudde mit sehr geringem Humusgehalt und sehr hohem Diatomeengehalt. Charakteristisch ist eine Konsistenz ähnlich wie Hefe, oder auch vergleichbar mit nassem Schluff. Zu erkennen sind rostfarbene Eisenflecken und –konkretionen.



Abbildung 34: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche KLIEK

An der Profilwand des aufgelassenen Tagebaus Klieken ist die für Diatomeenmudden charakteristische Fleckigkeit zu erkennen. Nahezu weiße Mudde liegt verzahnt mit Mudden von bräunlicher Farbe. Dabei handelt es sich um Mudden mit unterschiedlichem Gehalt an Diatomeen. Meist sind weiße Linsen in eine braune Matrix eingebettet. Da die Diatomeenmudden mit zunehmendem Anteil an Diatomeen leichter werden, kann dies auf Umlagerungsprozesse von bereits abgelagerter und konsolidierter leichter Gur in den aktiven Sedimentationsraum zurückzuführen sein.

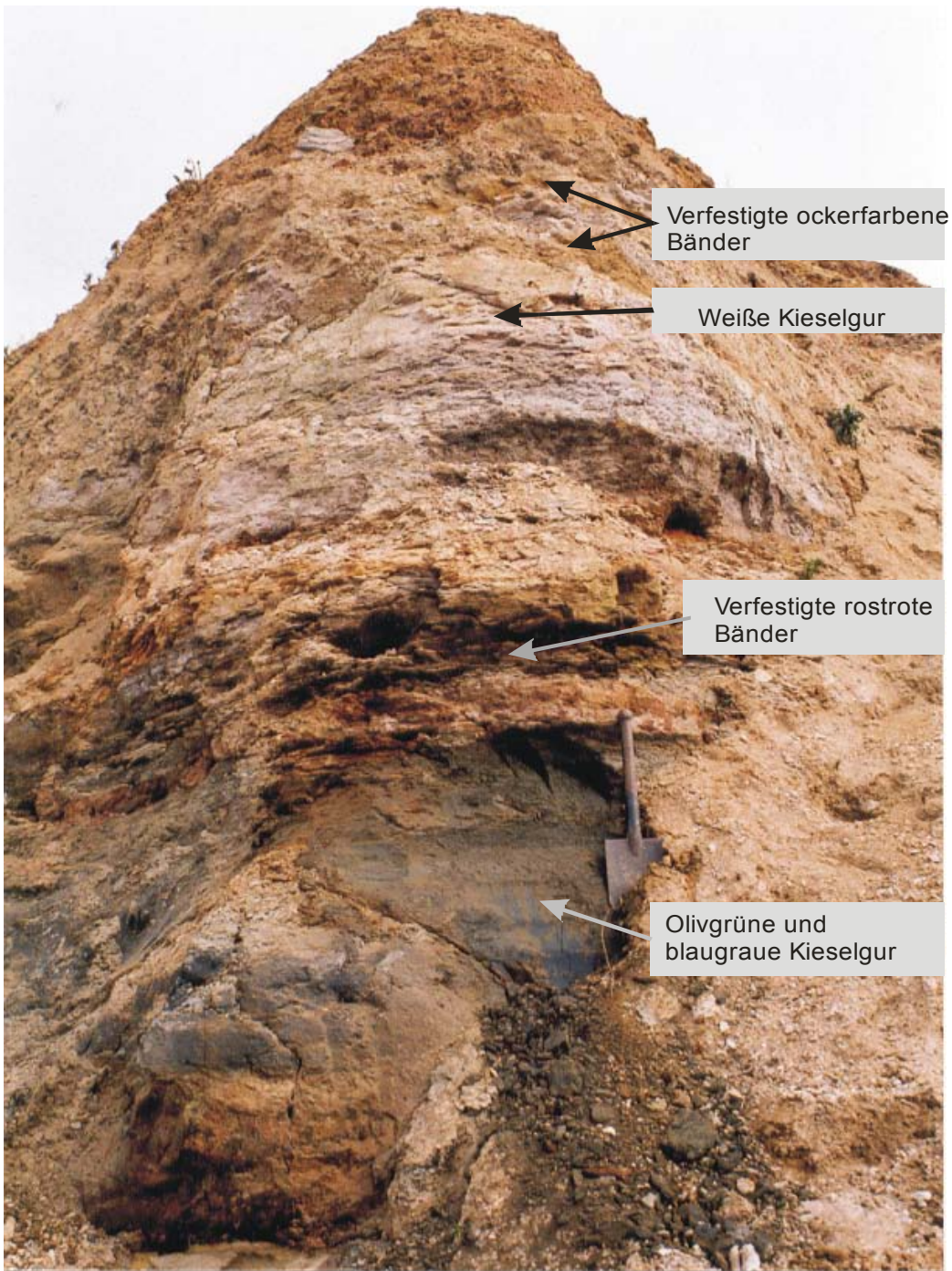


Abbildung 35: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche KLIEK

Mächtige Diatomeenmudden (Kieselgur) im aktiven Tagebau. Auf dem Bild sind Schichtpakete mit unterschiedlichen Farben zu sehen. Eisenoxidhaltige rostrote und ockerfarbene Ablagerungen erreichten bis zu 50 cm Mächtigkeit und traten gebankt auf. Die blaugraue Farbe der Diatomeenmudden im unteren Teil des Profils ist wahrscheinlich auf haftnässebedingte, reduzierende Verhältnisse zurückzuführen.

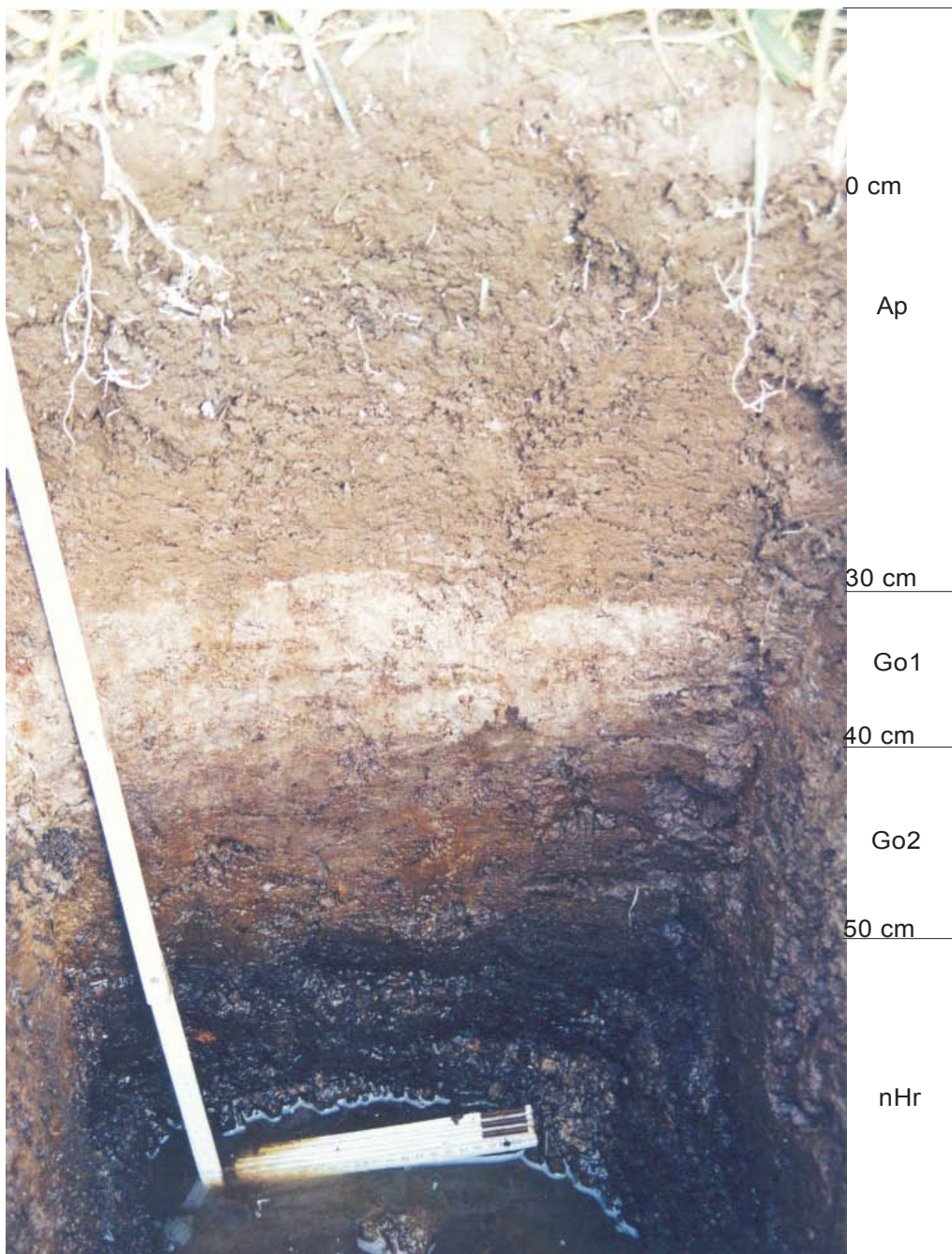


Abbildung 36: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM

Zu erkennen sind die durch verschiedene Prozesse hervorgerufenen Farbänderungen im vertikalen Verlauf des Profils. Auf der aktuell ackerbaulich genutzten Fläche hat die regelmäßige Bodenbearbeitung zu einer einheitlichen hellbraunen Farbe im Oberboden geführt. Die darunter liegende Mudde mit einem hohen Gehalt an Diatomeen ist fast weiß und durch Rostflecken gekennzeichnet. Die dunklere Farbe der darunter befindlichen Mudde ist auf einen höheren Gehalt an organischer Substanz zurückzuführen.



Abbildung 37: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM

Im Unterschied zum vorhergehenden Foto ist hier statt dem reinen Oxidationshorizont (Go) ein durch reduktive Merkmale geprägter Oxidationshorizont (Gro) ausgebildet. Da dieses Profil dichter am Dümmersee und auch näher am Bach Hunte lag, ist der Grundwasserstand wahrscheinlich höher, so dass zeitweilig reduzierende Bedingungen auftreten.

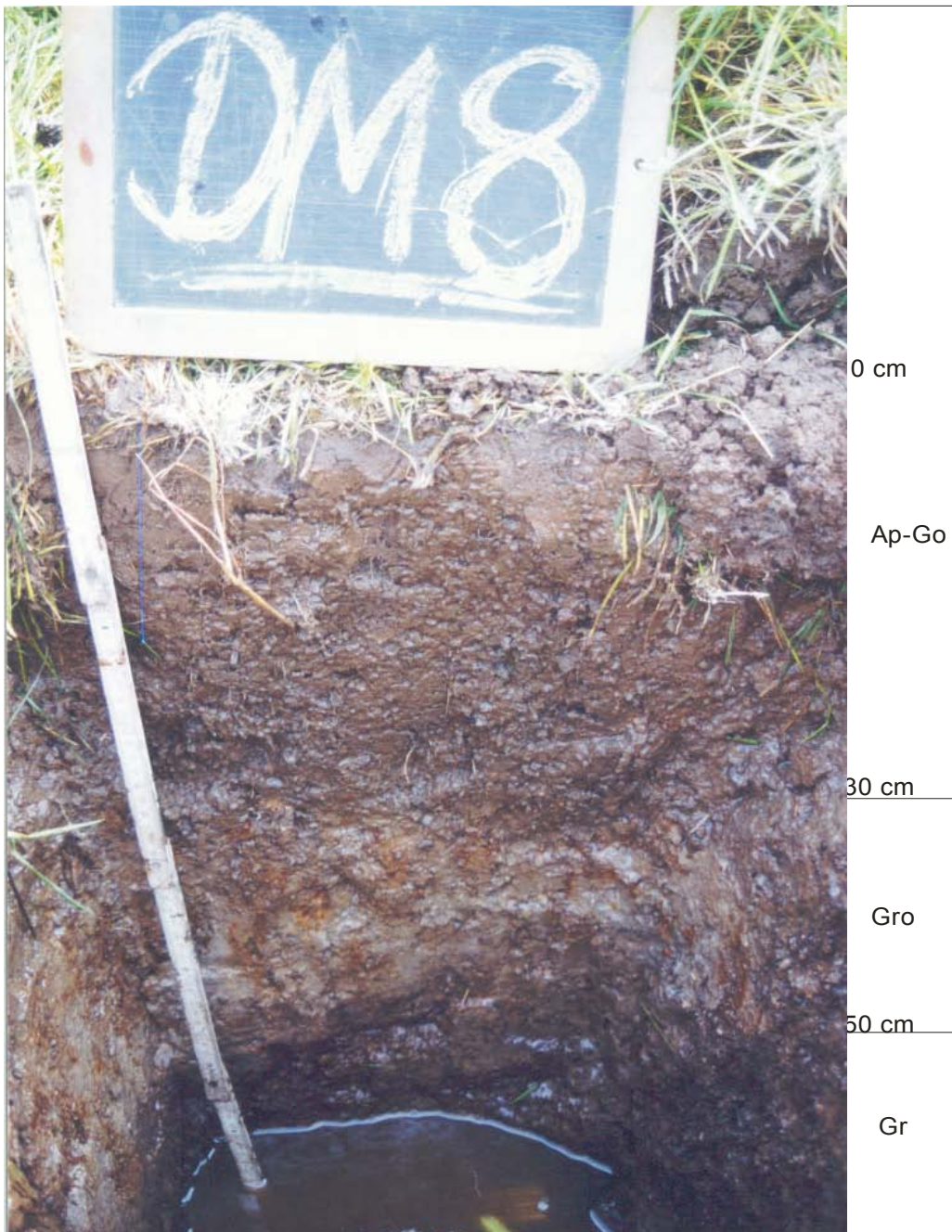


Abbildung 38: Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM

Wegen des hohen Wasserstandes ist das gesamte Profil hydromorph. Im Gro treten statt der schwarzen Reduktionsmerkmale vorwiegend graue Farben auf.

5 Chemische Eigenschaften von Mudden

5.1 Qualitative und quantitative Untersuchungen zu den Hauptbestandteilen der Substrate

5.1.1 Ausgewählte Hauptelemente

Ein großer Anteil an allochthonem lithogenem Material führt zu hohen Konzentrationen der Oxide SiO_2 , Al_2O_3 u.a. (siehe Tabelle 31), wenn die Gesteine im Einzugsgebiet sich überwiegend aus Feldspäten, Quarz, Glimmer und Kalkgesteinen zusammensetzen.

Tabelle 31: Flächenbezogene gemittelte Werte der Hauptelemente

Fläche	n	pH _{Ca} Cl2	GV 550 [°C]	CaC O ₃ [%]	SiO ₂ [%]	TiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	MnO [%]	MgO [%]	CaO [%]	Na ₂ O [%]	K ₂ O [%]	P ₂ O ₅ [%]	SO ₃ [%]
KLIEK	2	5,7	6,90	0	80,04	0,17	3,31	3,02	0,02	0,12	0,62	0,22	0,44	0,08	0
DM	12	4,9	32,49	3,52	66,13	0,13	2,4	4,5	0,04	0,13	0,59	0,15	0,37	0,37	0
MOS	5	7,5	6,55	54,76	36,51	0,1	1,59	1,59	0,08	0,35	30,02	0,18	0,4	0,18	0,17
ZIETH	11	6,3	53,44	1,27	34,89	0,36	6,01	2,28	0,04	0,65	2,44	0,42	1,32	0,23	0,09
MILD	10	6,5	60,15	3,44	24,59	0,24	3,84	1,86	0,04	0,56	6,47	0,28	0,84	0,19	0,89
JAG	18	7,4	18,47	55,62	16,56	0,12	2,06	2,1	0,08	0,92	35,95	0,18	0,47	0,17	0,68
DOBB	42	7,6	13,21	65,06	16,24	0,04	0,79	0,99	0,1	0,4	38,17	0,08	0,17	0,11	0,6
ZEH	7	7,4	30,86	48,76	13,33	0,04	0,73	2,34	0,05	0,4	33,2	0,08	0,17	0,13	0,43
OB	16	7,5	16,48	65,24	10,03	0,06	1,13	0,99	0,07	0,76	37,08	0,07	0,19	0,12	0,75
RHIN	10	7,5	29,35	62,17	0,79	0,01	0,08	0,53	0,09	0,54	46,25	0	0,01	0,06	0,89
U,t*					56,9		9,41							2,68	
U,sf*					71,2		6,19							2,13	
Sf*					80,9		4,65							1,73	

*aus Hammer, J. (2003, S. 172f): U,t (T: 23,5, U: 53,0, S: 4), U,sf (T: 5,7, U: 67,3, S: 18,9), Sf (T: 3,1, U: 26,4, S: 60,3)

KLIEK, DM: Diatomeenmudden, Altmoränenland, MOS: sandreiche Kalkmudde, Jungmoränenland nahe Poznan, ZIETH, MILD: Detritusmudden, Jungmoränenland, nördlich von Berlin, JAG, DOBB, ZEH, OB, RHIN: Kalkmudde

Daneben tragen bei den limnischen Sedimenten, im Unterschied zu terrestrischen Sedimenten Diatomeen zum Gehalt an SiO_2 bei. In Abhängigkeit vom Diatomeengehalt wurde dabei ein Opalgehalt bis zu 73 % bestimmt (siehe Tabelle 29, S. 84). Die Mangankonzentrationen sind im Vergleich zu Eisen und Aluminium generell sehr gering.

Mit steigendem Glührückstand und sinkendem Kalkgehalt nimmt der Gehalt an Spurenelementen zu, die in den Mineralen und Gesteinen des Einzugsgebiets vorhanden sind und äolisch oder mit dem Grund- und Oberflächenwasser in die Seen transportiert werden (vgl. Abbildung 39).

Kalium und Natrium sind auf allen Flächen sehr gut miteinander korreliert (siehe Tabelle 33). Beide Elemente sind Bestandteile der Schichtsilikate und als einwertige Kationen an die gleichen Bindungspartner sorbiert. Wegen der hohen Konzentration an Kalzium in Kalkmudden tritt eine umgekehrt proportionale Korrelation von Kalzium, Kalium und Natrium auf (siehe Tabelle 32).

Bei den Kalkmudden auf den Flächen DOBB, OB und RHIN weisen Magnesium und Kalzium positive Korrelationen auf (siehe Tabelle 32). Die Kalkmudden der Klasse 50 bis 80 Masse-% Kalkgehalt wiesen eine signifikante Korrelation zwischen CaO und MgO auf (siehe Tabelle 32). Hier liegt also an Kalzium gebundenes Magnesium vor, das entweder die Anwesenheit von Dolomit oder infolge der Düngung erhöhte Magnesiumwerte widerspiegelt.

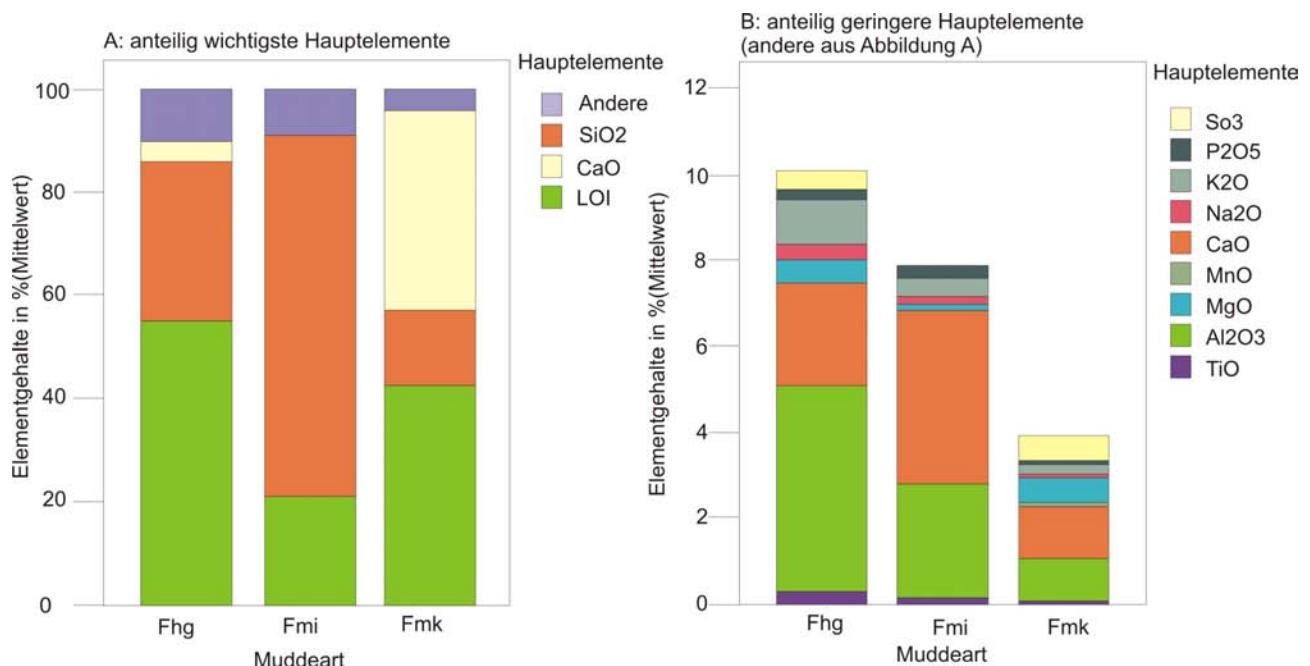


Abbildung 39: Anteil der Hauptelemente (Oxidgehalte) in Detritus-, Diatomeen- und Kalkmudden

Der Gehalt an Aluminium ist in erster Linie vom Anteil an mineralischer Substanz, genauer gesagt vom Anteil an Schicht- und Gerüstsilikaten determiniert, während der Gehalt an Eisen primär mit dem hydrogeologischen System (Grundwasserstrom) in Verbindung zu bringen ist.

Die Detritusmudden, vor allem die der Untersuchungsfläche ZIETH, weisen die höchsten Aluminium-Gehalte auf. Der hohe Aluminium-Gehalt stammt aus dem lithogenen Anteil, wofür auch die hohen Korrelationskoeffizienten von Al₂O₃ mit Titanium (0,98) und Zirkonium (0,88) sowie vergleichsweise hohe K₂O-Werte der Detritusmudden sprechen. Der deutlich höhere Aluminium-Gehalt trat auf der Fläche ZIETH mit dem geringeren Glühverlust und damit höheren Silikatanteil auf.

Tabelle 32: Korrelationskoeffizienten nach Pearson klassifiziert nach Untersuchungsflächen

Fläche		MGO	K2O	CAO	Na2O
DM	MGO	1	,783(**)	,415	,658(*)
DOBB			-,191	,505(**)	-,173
JAG			,456(*)	,050	,398
MILD			,849(**)	-,168	,731(*)
MOS			,253	,243	,263
OB			-,430	,744(**)	-,176
RHIN			-,978(**)	,975(**)	-,959(**)
ZEH			-,225	,436	-,227
ZIETH			,843(**)	-,336	,607(*)
DM	K2O		1	,452	,916(**)
DOBB				-,911(**)	,996(**)
JAG				-,772(**)	,994(**)
MILD				-,535	,964(**)
MOS				-,872	,996(**)
OB				-,826(**)	,846(**)
RHIN				-,997(**)	,986(**)
ZEH				-,936(**)	,997(**)

ZIETH				-,444	,921(**)
DM	CaO				,535
DOBB					-,897(**)
JAG					-,790(**)
MILD					-,522
MOS				1	-,857
OB					-,611(**)
RHIN					-,994(**)
ZEH					-,925(**)
ZIETH					-,386

**Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant, * Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant.

Der in der RFA-Analyse ermittelte Eisengesamtgehalt entstammt den partikelförmigen Silikaten, Oxiden und Kalzitfällungen. Korrelationen mit Titanium und Zirkonium sind zwar vorhanden, aber geringer als beim Aluminium (siehe Tabelle 37). So wird Fe^{2+} in Kalzium-reichen Gewässern und bei niedrigen Präzipitationsraten bei der Fällung von Kalzit in das Kristallgitter des Kalzits eingebunden (ebenso wie andere 2-wertige Metallionen Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} und Co^{2+}) (Walpersdorf, 2000; Rimstidt, et al. 1998; van Cappellen, et al., 1993; Koschel, 1997).

Hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Aluminium- und Eisengehalten wiesen Detritusmudden, wegen ihres größeren Anteils von lithogenem Material, deutlich höhere Aluminiumwerte als Eisenwerte auf (siehe Tabelle 32). Demgegenüber überstieg bei den Kalkmudden und der Diatomeenmudde der Untersuchungsfläche DM der vorwiegend pedogene, auf den Einfluss des Grundwassers zurückzuführende, Eisengehalt den von Aluminium (ebenda).

Ein zu erwartender signifikanter Zusammenhang ergab sich zwischen den Eisen- und Phosphorgehalten (siehe Tabelle 33), während zwischen Kalzium und Phosphor sowie dem Anteil an organischer Substanz und Phosphor keine bzw. umgekehrt proportionale Zusammenhänge (siehe Tabelle 33) bestehen.

Wichtigster Steuerungsfaktor für den Phosphor-Gehalt war Fe_2O_3 , das immer eine signifikante Korrelation mit P_2O_5 aufwies (vgl. auch Veltz, 2005). Dagegen wiesen nur Mudden mit geringem Gehalt an Kalziumkarbonat eine Korrelation zu P_2O_5 auf. Diese Verhältnisse treten auch in Seesedimenten unter Wasserbedeckung (Belauer See) auf (Merkt, 1985). Möglicherweise steht nach der Bildung von Eisenphosphat-Verbindungen wenig oder kein gelöstes Phosphor mehr für die Ko-Präzipitation mit Kalzit zur Verfügung, um eine Korrelation mit den z.T. sehr hohen CaO-Werten zu ergeben. Dies steht im Gegensatz zu Walpersdorf (2000), wo ein Anstieg der P-Kopräzipitation in Ca-reichen Gewässern mit steigender Intensität der Kalzitfällung bei höheren pH-Werten nachgewiesen wurde.

Tabelle 33: Korrelationskoeffizienten nach Pearson für verschiedene Kalkgehalte

Für CaCO_3		GV550	Fe_2O_3	P_2O_5	CaCO_3
> 80 %	GV550		,187	,126	-,286 (*)
> 50 bis 80		1	,409(*)	,232	-,242
10 bis 50			-,173	,284	,072
> 0 bis < 10			-,224	,079	,591(**)
> 80 %	Fe_2O_3			,780(**)	-,312
> 50 bis 80			1	,502(**)	,330(*)
10 bis 50				,574(**)	,111
> 0 bis < 10				,782(**)	-,149
> 80 %	P_2O_5				-,224
> 50 bis 80				1	-,582(**)
10 bis 50					,181
> 0 bis < 10					,117
	CaCO_3				1

**Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 signifikant, * Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 signifikant.

5.1.2 Schwermetalle

Erwartungsgemäß korrelieren eine Reihe von Schwermetallen mit dem Gehalt an organischer Substanz sowie zu Eisen- und Aluminiumoxiden (siehe Tabelle 34). Arsen ist vor allem an Eisenoxid gebunden, während Chrom und Nickel eine besonders starke Korrelation zum Aluminiumoxid zeigen.

Beim Element Kupfer ergaben die RFA-Messwerte keine Korrelation zu den potenziellen Bindungspartnern, während die ICP-Werte dies sehr wohl zeigten. MnO macht dabei eine Ausnahme: eine schwache Korrelation zeigt sich zu den RFA-Messwerten, während keine Korrelation zu den ICP-Werten besteht.

Kupfer, Quecksilber sowie Blei zeigen einen sehr deutlichen Zusammenhang mit Aluminiumoxid und Eisenoxid. Das gemeinsame Auftreten mit organischer Substanz ist bei Kupfer, Quecksilber und Nickel stark ausgeprägt.

Der Vergleich der Werte zeigt bei den Elementen Arsen, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Zink und Quecksilber die höchsten Konzentrationen in den Böden der Fläche DM, gefolgt den Flächen MILD und ZIETH sowie bei einigen Werten die Fläche KLIEK. Hierbei kommen zwei determinierende Faktoren zum Tragen: der pH-Wert auf den Flächen DM und KLIEK und der Gehalt an organischer Substanz auf den Flächen ZIETH und MILD. Im Vergleich dazu weisen die Flächen auf denen Kalkmudde ansteht, deutlich geringere Konzentrationen auf; bei den Elementen Chrom, Kupfer und Nickel fast eine Zehnerpotenz. Dies gilt auch für die RFA-Konzentrationen (Werte hier nicht aufgeführt, siehe Anhang).

Tabelle 34: Korrelationskoeffizienten für ausgewählte Schwermetalle zu pH-Wert, Glühverlust und Eisen- und Aluminiumoxiden

Element	n	pH	GV [Masse-%]	Al ₂ O ₃ [%]	Fe ₂ O ₃ [%]	MnO [%]
As (RFA)	133	-0,63	0,27	0,21	0,78	0,07
Cd (ICP)*	133	-0,17	0,29	0,22	0,31	0,08
Cr (RFA)	133	-0,57	0,37	0,91	0,56	-0,22
Cu (RFA)**	133	0,3	-0,19	0,01	0,07	0,34
Cu (ICP)**	126	-0,64	0,53	0,77	0,69	-0,14
Hg (RFA)	133	-0,64	0,53	0,77	0,69	-0,14
Ni (RFA)	133	-0,64	0,58	0,89	0,63	-0,25
Pb (RFA)	133	-0,48	0,31	0,56	0,46	-0,11
Zn (RFA)	133	-0,22	0,38	0,44	0,22	-0,04

* bei Cd liegt nur ICP vor, **nur bei erheblichen Abweichungen zwischen ICP und RFA bei Cu sind beide Werte angegeben

Bis auf das Element Nickel weisen die Oberbodenhorizonte insgesamt höhere Elementkonzentrationen gegenüber den Unterbodenhorizonten auf. Ursachen sind die Exposition gegenüber atmosphärischen und landwirtschaftlichen Einträgen sowie eventuell durch Mineralisierungsprozesse hervorgerufene Anreicherung. Letzteres spiegelt sich auf den Flächen ZIETH und MILD mit gegenüber dem zweiten Horizont geringeren Glühverlusten wider. Auf der Fläche DOBB weist der Oberboden einen rund 10 Masse-% höheren Humusgehalt gegenüber dem darunter liegenden Horizont auf, dabei handelt es sich um Torfsubstanz. Ein weiterer Grund könnte auch sein, dass die Oberbodenhorizonte ein Mischsubstrat aus Torf und Mudde sind, was einen Einfluss auf das Gefüge und damit auf den Zutritt und die räumliche Verteilung von gasförmigen und flüssigen Stoffen hat. Torfe weisen gegenüber Mudden ein größeres Volumen an Grobporen auf, so dass sich im Niederschlagswasser gelöste Elemente viel homogener in den Torfen verteilen und an die Substanz anlagern können, während in den Mudden die Wasserbewegung eher als präferenzzieller Fluss an den Grenzflächen der Aggregate stattfindet.

Arsen und Quecksilber zeigen in Gegenüberstellung von Proben der Untersuchungsfläche DM zu den anderen Untersuchungsflächen vertikal durchgängig in allen Profilen deutlich höhere Werte, unabhängig von einer Zu- oder Abnahme der pH-Werte (siehe Tabelle 35). Die Arsenkonzentration ist besonders hoch in den

Horizonten 3 und 1, die Quecksilberkonzentration in den Horizonten 4 und 1. Verursacht können diese Werte zum einen durch die generell niedrigen pH-Werte als auch durch Einträge aus der nahe gelegenen Deponie sein. Da der Humusgehalt des obersten Horizontes meist geringer als der des darunter liegenden Horizontes ist, kann ein Zusammenhang erhöhter Quecksilbergehalte mit dem Humusgehalt hier ausgeschlossen werden. In keinem der untersuchten Profile erreichten die Quecksilbergehalte (Ackernutzungs-)bezogene Prüf- oder Maßnahmewerte sowie den für Schluffböden (die Diatomeenmudden enthalten zwischen 33 und 73 Masse-% Schluff) angegebenen Vorsorgewert von $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ TS Boden.

Dagegen steigt der Arsengehalt in den Diatomeenmudden mit dem Humusgehalt an. Eine Korrelation der Humusgehalte mit dem Arsengehalt der gesamten Stichprobe ergibt keinen Zusammenhang, dafür herrscht jedoch eine enge Korrelation der Eisen- und Arsengehalte. Dabei könnte es sich um die Fällung von Arsenat-V-Eisensalzen unter oxidativen Bedingungen handeln. Die Anreicherung von Arsen erfolgt also bevorzugt in durch wechselnde Grundwasserstände gekennzeichneten eisenreichen Böden. Eine Gefährdung kann durch unter reduzierenden Bedingungen entstehendem Arsenit resultieren. Allerdings liegt mit 74 mg kg^{-1} TS Boden nur ein Wert der Untersuchungsfläche DM über dem für ackerbaulich genutzte, zeitweise unter reduzierenden Verhältnissen befindlichen, Böden angegebenen Prüfwert von 50 mg kg^{-1} TS Boden (siehe). Zu beachten ist, dass für als Grünland genutzte Flächen 50 mg kg^{-1} TS Boden als Maßnahmewert gilt. Auch auf den Untersuchungsflächen MILD, RHIN und JAG liegen an mehreren Stellen die Arsengehalte über den als normal in Böden angesehenen Arsengehalte von $1 \dots 20 \text{ mg kg}^{-1}$ TS Boden. Da es sich hierbei um Grünland bzw. ehemalige (und damit auch potenzielle Grünlandflächen) handelt, ist bei der Gefährdungsabschätzung der entsprechende o.g. Maßnahmewert zu Grunde zulegen.

Gensior und Zeitz (1999) wiesen hohe Arsen- und Quecksilberwerte für die Oberböden eines Brandenburger Moores nach und führten dies auf den Einsatz von Pestiziden (Arsen) und den Einsatz von mit Quecksilber gebeiztem Saatgut zurück. Bei einer Reihe von Elementen überwiegt der Anteil der anthropogenen Quellen an der Gesamtemission, wie z.B. Blei (95%), Cadmium (88%), Zink (74%), Chrom (77%), Arsen (71%), Nickel (68%) und Kupfer (65%) (Pacyna, 1986; Pacyna und Nriagu, 1988; Möller, 2003), so dass sich diese Elemente im Oberboden anreichern.

Auch beim Element Chrom zeigt sich ein vertikaler Verlauf mit einer unabhängig vom Humusgehalt auftretenden Abnahme vom ersten zum zweiten Horizont, dann mit einer Zunahme zum nächsten Horizont.

In Tabelle 35 sind die im Königswasseraufschluss mit ICP gemessenen Gehalte von Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Blei, Zink und Quecksilber als Mittelwerte für die Flächen, als Mittelwerte für die Horizonte ausgewählter Flächen und als Vergleich die Hintergrundwerte für Torf (nach LABO, 2003) angegeben. Für Mudden existieren bisher keine Hintergrundwerte, die hier angegebenen Werte könnten also als solche verwendet werden. In den oberen Horizonten liegen die Konzentrationen, mit Ausnahme der Flächen, auf denen Kalkmudde ansteht, in der Spanne der nach LABO (2003) für den nordostdeutschen Raum angegebenen Hintergrundkonzentrationen. Die für das Land Brandenburg angegebenen Werte sind demgegenüber geringer, so dass die Konzentrationen der untersuchten Flächen diese z.T. überschreiten.

Die an organischer Substanz sowie an Aluminiumoxid reichen Detritusmudden der Untersuchungsflächen ZIETH und MILD haben im Vergleich zu den anderen Mudden hohe Gehalte an Nickel, Blei, Zink, Chrom, Kobalt sowie Quecksilber, liegen aber immer noch im Bereich der für Torfe angegebenen Hintergrundwerte. Die Quecksilber-Gehalte in den Proben der Untersuchungsfläche DM waren gegenüber allen anderen Mudden deutlich erhöht und erreichten z.T. den doppelten Wert der für Torfe im Unterboden angegebenen Maximalwerte. Diese hohen Gehalte werden als flächenspezifisch angesehen und scheinen durch die nahe gelegene Deponie verursacht zu sein. Auf Grund der niedrigen pH-Werte der Diatomeenmudden besteht eine Gefährdung bezüglich der Mobilisierung von Schwermetallen in den betreffenden Böden.

Tabelle 35: Flächen- und horizontbezogene Mittelwerte von ausgewählten Schwermetallen (Gehalte im Königswasseraufschluss mit ICP)

Fläche / Horizont	pH (Ca Cl ₂)	GV [%]	CaCO ₃ [%]	As [mg kg ⁻¹]	Cd [mg kg ⁻¹]	Cr [mg kg ⁻¹]	Cu [mg kg ⁻¹]	Ni [mg kg ⁻¹]	Pb [mg kg ⁻¹]	Zn [mg kg ⁻¹]	Hg [µg kg ⁻¹]
MILD/1	6,2	51,8	0,4	28,4	0,6	18,5	12,8	13,5	37,4	58,0	139,0
MILD/2	6,6	69,1	4,8	3,0	0,2	9,0	10,2	10,8	22,0	28,0	72,0
MILD/3	6,5	69,5	5,9	2,7	0,2	11,9	14,6	14,2	12,4	36,5	47,5
MILD/4	6,6	61,8	2,7	2,4	0,2	15,5	15,2	16,0	20,4	45,9	50,5
MILD/5	6,3	69,6	1,8	1,8	0,1	14,8	15,6	16,0	11,9	41,5	44,0
ZIETH/1	6,4	46,6	1,3	13,5	1,1	39,0	21,8	16,0	58,2	297,6	121,7
ZIETH/2	6,3	51,1	1,0	13,2	0,5	18,9	14,9	14,9	20,9	81,4	35,3
ZIETH/3	6,3	49,7	2,1	5,0	0,4	23,1	18,4	18,7	10,3	91,2	27,0
ZIETH/4	6,3	70,7	1,4	5,0	0,3	19,9	17,0	16,4	8,0	85,6	24,0

DOBB/1	7,5	18,9	53,0	8,3	0,4	7,4	6,7	2,7	26,0	32,4	90,8
DOBB/2	7,7	9,3	77,0	7,2	0,3	1,3	2,1	1,1	3,8	6,0	15,0
DOBB/3	7,6	10,7	69,0	8,1	0,3	1,2	3,4	1,2	4,3	6,9	9,3
DOBB/4	7,6	11,3	61,1	7,8	0,3	3,1	3,2	3,1	3,1	14,2	11,3
DOBB/5	7,6	12,6	65,0	5,0	0,3	2,2	1,9	1,6	2,5	5,2	12,0
DM/1	4,8	25,8	0,1	25,0	0,6	26,3	21,1	11,8	43,0	58,3	204,7
DM/2	4,8	36,7	0,1	14,6	0,6	16,6	9,6	10,2	28,6	26,7	135,3
DM/3	5,0	41,1	0,1	34,3	0,1	11,6	9,5	12,5	12,0	13,9	131,7
DM/4	5,7	38,3	25,8	14,3	0,4	24,3	26,3	10,0	40,3	57,1	228,0
DM/5	5,3	21,5	n.b.	12,8	0,1	14,7	12,4	14,4	12,7	33,7	156,0
DM	4,8	32,5	3,5	23,0	0,4	18,3	13,9	11,7	27,0	33,3	160,8
DOBB	7,6	13,2	65,1	7,4	0,3	3,1	3,7	1,9	8,9	13,9	30,8
JAG	7,4	18,5	55,6	13,5	0,1	7,1	9,7	7,1	15,6	19,8	44,3
KLIEK	5,7	6,9	n.b.	23,0	n.b.	15,9	7,0	9,5	16,5	11,5	85,0
MILD	6,5	60,2	3,53	7,8	0,2	13,4	13,1	13,6	21,8	40,6	73,4
MOS	7,5	6,6	54,8	8,0	0,5	4,6	2,7	3,9	19,1	9,7	20,8
OB	7,5	16,5	65,2	8,2	0,4	4,9	3,2	4,4	16,8	12,2	41,7
RHIN	7,5	29,4	62,2	12,4	0,1	1,1	2,1	1,1	13,4	4,2	36,0
ZEH	7,4	30,9	48,8	23,0	n.b.	2,7	4,3	3,0	32,6	9,3	59,0
ZIETH	6,3	53,4	1,4	9,5	0,6	25,7	18,1	16,5	25,8	143,8	54,6
Torf, (50.,90. Perzentil) Oberboden*					0,2 0,4	12 27	9,5 26	5,1 10	26 48	23 50	n.b.
Torf, (50.,90. Perzentil) Unterboden**					0,2 0,5	3,6 10	4,0 18	5,9 22	9,3 22	9,6 33	80 140
Torf (50.,90. Perzentil) Oberboden***					0,1 0,4	5 13	5 10	3 8	12 24	17 30	50 80

* zum Vergleich Hintergrundwerte Torf, Grünland, NE-Deutschland (LABO, 2003), N = 35–83

** zum Vergleich Hintergrundwerte Torf, Grünland, keine regionale Differenzierung (LABO, 2003), N = 25–158

*** zum Vergleich Hintergrundwerte Torf, Brandenburg (LABO, 2003), N = 53–61

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in allen Mudden die für die Schwermetalladsorption relevanten Bindungspartner Aluminium- und Eisenoxid sowie organische Substanz vorhanden sind. Bei den Detritusmudden sind alle drei Bindungspartner besonders stark vertreten, was dazu führt, dass diese im Vergleich zu den anderen Muddearten höhere Gehalte an Schwermetallen besitzen, wobei besonders die Oberböden angereichert sind und z.T. deutlich über für nach LABO (2003) für stadtnahe Ackerböden des Berliner Umlandes angegebene Werte für die Elemente Cadmium ($0,15\text{--}0,4\text{ mg kg}^{-1}$), Chrom ($2,2\text{--}4,2\text{ mg kg}^{-1}$), Kupfer ($10\text{--}22\text{ mg kg}^{-1}$), Nickel ($0,8\text{--}1,7\text{ mg kg}^{-1}$), Blei ($22\text{--}44\text{ mg kg}^{-1}$) und Zink ($16\text{--}35\text{ mg g}^{-1}$) liegt. Demgegenüber wiesen die Kalkmudden deutlich geringere Werte auf, wobei auch hier eine Anreicherung im Oberboden nachweisbar ist. Die untersuchten Diatomeenmudden sind vor allem durch hohe Quecksilberkonzentrationen gekennzeichnet. Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass die punktuell hohen Werte auf der Untersuchungsfläche DM anthropogene Ursachen haben und durch die nahe gelegene Deponie verursacht werden.

5.1.3 Kationenaustauschkapazität

Die Detritusmudden weisen mit rund $61\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ auf Grund ihres großen Anteils an organischer Substanz die größte potenzielle Kationenaustauschkapazität im Vergleich zu den anderen Muddearten auf (siehe Tabelle 36), gefolgt von den Diatomeenmudden mit im Mittel $32\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ und den Kalkmudden mit im Mittel $20\text{ cmol}_c\text{ kg}^{-1}$.

Tabelle 36: Kationenbelegung und potenzielle Kationenaustauschkapazität von Detritus-, Diatomeen- und Kalkmudde

Substratart		GV [Mass e-%]	H ⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Ca ²⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Mg ²⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Na ⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	K ⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Al ³⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Fe ³⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Mn ²⁺ [cmol _c kg ⁻¹]	Σ Kationen* [cmol _c kg ⁻¹]	KAK _{pot} [cmol _c kg ⁻¹]
Fhg	N	21	21	21	21	21	21	10	10	10	21	21
	Mittel	52,47	13,01	69,02	3,01	0,45	0,13	0,30	0,66	0,00	85,62	60,99

	Sd	12,96	6,83	20,60	1,26	0,48	0,12	0,20	0,41	0,00	23,19	15,67
Fmi	N	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Mittel	16,84	21,74	15,52	1,46	0,17	0,81	0,06	2,35	0,03	39,69	32,03
	Sd	6,99	8,76	3,06	0,46	0,11	0,43	0,06	1,05	0,05	9,91	7,38
Fmk	N	51	51	51	51	51	51	17	17	17	51	51
	Mittel	10,21	-5,16	27,39	1,05	0,16	0,18	0,02	0,23	0,01	23,61	19,92
	Sd	6,01	2,16	14,48	1,01	0,16	0,29	0,02	0,14	0,02	16,07	13,23

* Summe der Kationen: H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+

Bei den Detritus- und Kalkmudden und dort bei allen analysierten Proben wiesen, auf Grund der mit der Wertigkeit der Kationen ansteigenden Bindungspräferenz, die zweiwertigen Ca^{2+} und Mg^{2+} die größte Belegungsdichte auf, wobei Ca^{2+} in der Kationensumme deutlich überwiegt. Die Menge der anderen Kationen variiert mit der Substratart. Gegenüber den Detritusmudden ist in den Kalkmudden der Anteil an K^+ etwas höher, der von Na^+ dagegen deutlich geringer.

Bei den durchweg einen geringeren pH-Wert als die anderen Mudden aufweisenden Diatomeenmudden machte H^+ einen großen Anteil aus, während dieses Kation in den Kalkmudden praktisch kaum vorkam. K^+ und Fe^{3+} kamen in den Diatomeenmudden gegenüber den Detritus- und Kalkmudden in höherer Konzentration vor.

Die potenzielle Kationenaustauschkapazität ist in den meisten Fällen kleiner als die Summe der Kationen. Da die potenzielle Kationenaustauschkapazität die größtmögliche Austauschkapazität angibt, zeigt sich eine deutliche Unterschätzung der potenziellen Kationenaustauschkapazität gegenüber der tatsächlichen. Die Unterschätzung steigt mit zunehmendem Anteil an organischer Substanz ($R^2=0,68$).

Die ermittelten Kationenaustauschkapazitäten stimmen gut mit Untersuchungen von Valcke und Cremers (1998) und Piascik et al. (1997, 1998) überein, die in Mudden mit 27 bis 73 Masse-% organischer Substanz zwischen 30 und 90 $cmol_c kg^{-1}$ gemessen haben. Dabei stieg die Kationenaustauschkapazität mit dem Anteil an organischer Substanz an. Die Untersuchungen von Piascik et al. (1997, 1998) ergaben für vererdete Detritusmudde rund 70 $cmol_c kg^{-1}$, für tonige Kalkmudde rund 33 $cmol_c kg^{-1}$ und für Mineralmudde rund 28 $cmol_c kg^{-1}$. Der bei der Kalkmudde gemessene Wert ist etwas höher, als der in der vorliegenden Arbeit ermittelte. Allerdings ist es wahrscheinlich, dass der Kalkgehalt der Kalkmudde in den polnischen Untersuchungen deutlich geringer war (*clayey calcareous gyttja*). Die Werte von Detritus- und mineralischer Mudde stimmen gut überein.

5.2 Substrat-, horizont- und flächenspezifische Elementgehalte und charakteristische Parameterkorrelationen

5.2.1 Substratbezogene Analyse der Hauptkomponenten

Es wurde eine Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation durchgeführt und anhand der Korrelationsmatrix nach Pearson (siehe Tabelle 37) unter Verwendung des so genannten Kaiserkriteriums (Eigenwerte > 1) fünf Hauptkomponenten (HK) extrahiert (siehe Tabelle 38). In der Tabelle sind die Parameter mit einer Faktorladung < 0,5 (Markiervariablen) zugeordnet zu den Hauptkomponenten. Insgesamt erklären diese fünf Komponenten 79,65 % der im gesamten Datensatz auftretenden Varianz.

Tabelle 37: Korrelation nach Pearson für Haupt- und ausgewählte Spurenelemente

$n \geq 133$, für $\alpha = 0,05$ signifikante Korrelationen $> 0,6$ sind fett hervorgehoben, (Symbole: GV = Glühverlust bei 550 °C, pH in CaCl₂, Analytik: RFA, außer Cu → ICP und RFA)

	pH	GV	CaCO ₃	Cu ICP	LOI	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	F	Cl	As	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
GV	-0,53																							
CaCO ₃	0,71	-0,71																						
Cu (ICP)	-0,50	0,55	-0,77																					
LOI	0,27	0,55	0,20	-0,12																				
SiO ₂	-0,65	0,09	-0,82	0,52	-0,78																			
TiO ₂	-0,38	0,50	-0,81	0,78	-0,21	0,56																		
Al ₂ O ₃	-0,40	0,47	-0,84	0,79	-0,29	0,63	0,99																	
Fe ₂ O ₃	-0,63	0,28	-0,63	0,69	-0,35	0,60	0,50	0,52																
MnO	0,36	-0,31	0,28	-0,16	0,08	-0,36	-0,28	-0,28	-0,08															
MgO	0,40	-0,15	0,08	0,03	0,12	-0,32	0,28	0,23	-0,22	0,03														
CaO	0,73	-0,59	0,99	-0,74	0,34	-0,85	-0,76	-0,79	-0,66	0,44	0,28													
Na ₂ O	-0,28	0,30	-0,82	0,64	-0,45	0,69	0,89	0,92	0,43	-0,22	0,19	-0,74												
K ₂ O	-0,31	0,41	-0,84	0,72	-0,31	0,61	0,97	0,98	0,45	-0,27	0,26	-0,74	0,96											
P ₂ O ₅	-0,54	0,38	-0,52	0,64	-0,09	0,38	0,32	0,34	0,81	0,06	-0,32	-0,52	0,23	0,26										
SO ₃	0,34	0,03	0,05	-0,20	0,34	-0,42	-0,20	-0,23	-0,27	0,36	0,21	0,32	-0,18	-0,19	-0,20									
F	0,34	-0,37	0,48	-0,42	0,14	-0,44	-0,44	-0,46	-0,31	0,27	0,21	0,54	-0,46	-0,46	-0,23	0,10								
Cl	0,07	-0,10	-0,04	-0,07	-0,12	0,06	0,06	0,06	-0,01	-0,09	0,15	0,00	0,16	0,05	-0,08	-0,06	-0,15							
As	-0,50	0,21	-0,37	0,42	-0,20	0,38	0,21	0,23	0,76	0,03	-0,27	-0,43	0,19	0,18	0,67	-0,19	-0,24	-0,02						
Cr	-0,50	0,44	-0,75	0,82	-0,28	0,61	0,91	0,91	0,61	-0,22	0,15	-0,76	0,76	0,84	0,45	-0,30	-0,39	0,01	0,30					
Cu	0,31	-0,25	-0,05	0,14	-0,12	-0,09	0,00	0,01	0,03	0,34	0,22	0,19	0,04	0,03	0,13	0,01	0,18	0,04	0,01	0,01				
Ni	-0,52	0,59	-0,77	0,85	-0,13	0,55	0,91	0,91	0,64	-0,27	0,15	-0,79	0,74	0,84	0,46	-0,19	-0,46	0,00	0,36	0,88	-0,08			
Pb	-0,46	0,41	-0,64	0,66	-0,19	0,53	0,54	0,57	0,50	-0,15	-0,18	-0,65	0,49	0,50	0,62	-0,34	-0,23	0,02	0,27	0,63	0,10	0,55		
Zn	-0,18	0,42	-0,47	0,54	0,08	0,20	0,43	0,44	0,23	-0,04	0,00	-0,39	0,35	0,40	0,42	-0,13	-0,19	-0,04	0,18	0,50	0,20	0,43	0,56	
Zr	-0,38	0,30	-0,77	0,65	-0,44	0,69	0,87	0,88	0,51	-0,11	0,12	-0,74	0,92	0,89	0,29	-0,19	-0,42	0,11	0,29	0,80	0,00	0,76	0,47	0,34

Tabelle 38: Mittels Hauptkomponentenanalyse ermittelte Komponenten

HK	1		2		3		4		5		Summe [%]
Eigenwert	10,92		2,93		2,28		1,78		1,22		79,65
Anteil der erklärten Gesamtvarianz [%]	45,48	Faktorladung	12,21	Faktorladung	9,48	Faktorladung	7,41	Faktorladung	5,08	Faktorladung	
Markiervariablen	TiO ₂	0,968	As	0,847	MnO	0,748	LOI	0,921	Pb	0,664	
	Al ₂ O ₃	0,963	P ₂ O ₅	0,803	Cu	0,709	GV	0,655	Zn	0,643	
	K ₂ O	0,959	Fe ₂ O ₃	0,796	F	0,510	SiO ₂	-0,603	SO ₃	-0,599	
	Na ₂ O	0,904	MgO	-0,543							
	Ni	0,891	pH	-0,653							
	Cr	0,887									
	Zr	0,883									
	Cu	0,790									
	SiO ₂	0,521									
	CaO	-0,683									

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung, Elementgehalte: RFA, Cu in HK1 ICP.

Die erste Hauptkomponente enthält die Markiervariablen TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O, Ni, Cr, Zr, Cu, SiO₂ und als negative Variable CaO (siehe Tabelle 39, Abbildung 40) und erklärt rund 45 % der Gesamtvarianz. Die Hauptelemente Titanium, Aluminium, Kalium, Natrium und Silizium sowie das nur im schwer verwitterbaren Mineral Zirkon vorkommende Zirkonium treten darin mit hohen Faktorladungen auf. Diese Elemente sind Hauptbestandteile der weichselzeitlichen Lockergesteine. Die ebenfalls hoch korrelierten Schwermetalle Nickel, Chrom und Kupfer kommen als Spurenelemente in den Gesteinen vor. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die erste Hauptkomponente den lithogen gebundenen Element-Anteil und damit den erosiv-partikelgebundenen Eintrag aus dem Einzugsgebiet repräsentiert.

Die zweite Hauptkomponente enthält die Markiervariablen Arsen, Phosphor und Eisen (siehe Tabelle 39, Abbildung 40) sowie zu diesen umgekehrt proportional korreliert Magnesium und den pH-Wert und erklärt rund 12 % der Gesamtvarianz. Wie oben dargestellt, sind pedogene Eisenoxide Bindungspartner sowohl für Arsen und Phosphor, hier liegt also ein pedogen beeinflusster stofflicher Zusammenhang vor.

Die dritte Hauptkomponente enthält die Markiervariablen Mangan und Kupfer (RFA) sowie untergeordnet Fluor (siehe Abbildung 41) und erklärt rund 9 % der Gesamtvarianz. Während in der ersten Hauptkomponente wahrscheinlich der lithogen gebundene Kupferanteil enthalten ist, spricht die hohe Korrelation von Kupfer und Mangan in der dritten Hauptkomponente, dafür, dass hier wahrscheinlich der oxidisch gebundene Anteil charakterisiert wird. Dabei könnte es sich einerseits um „reliktische“, in den tieferen Zonen des Seesediments entstandene Oxide oder/und um später mit dem Grundwasser verlagerte Oxide handeln.

Die vierte Hauptkomponente erklärt 7 % der Gesamtvarianz und enthält die Markiervariablen *Loss on Ignition* (LOI) und den Glühverlust sowie als „Antagonist“ Silizium (siehe Abbildung 41). Beim Glühen bei 1000 °C wird neben dem organisch gebundenen Kohlenstoff auch das in den Karbonaten und im Kristallwasser der Tonminerale enthaltene Kohlenstoff zerstört. Damit ist der LOI ein Summenparameter, der den Anteil an organischer Substanz und den Kalkgehalt erfasst. Die vierte Hauptkomponente charakterisiert damit kalkhaltige kohlenstoffreiche Proben mit einem geringen silikatischen Anteil.

Die fünfte Hauptkomponente enthält die Markiervariablen Blei und Zink, als „Antagonist“ tritt Schwefel auf, und erklärt rund 5 % der Gesamtvarianz. Die in der fünften Hauptkomponente korrelierten Elemente sind typischerweise in diffusen anthropogenen Immissionen aus KFZ- und Industrieabgasen enthalten und charakterisieren die Oberbodenhorizonte.

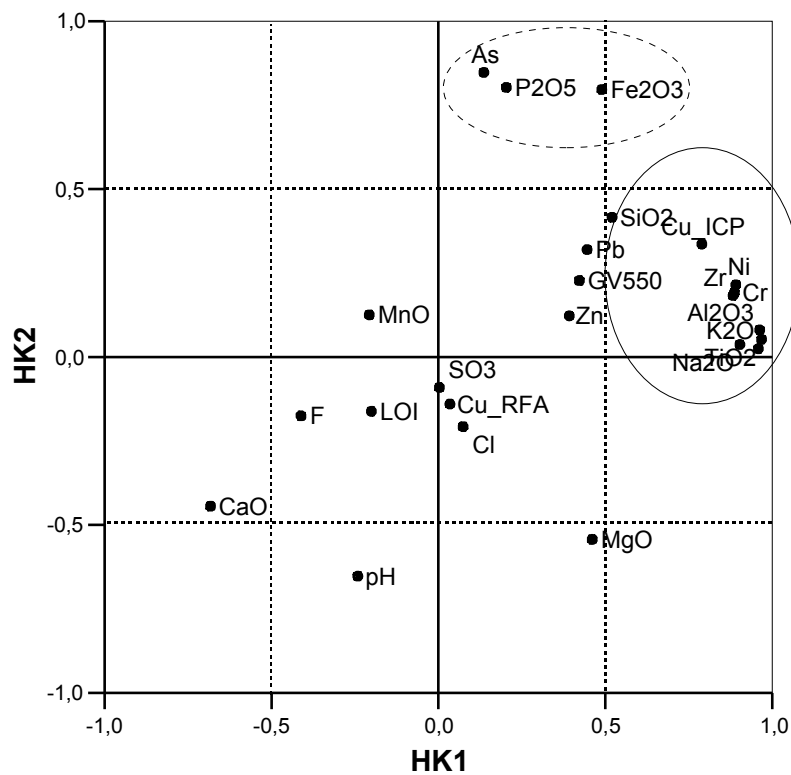


Abbildung 40: Faktorladungen der ersten und zweiten Hauptkomponente
 ____ = Markiervariablen 1. HK, ---- = Markiervariablen 2. HK

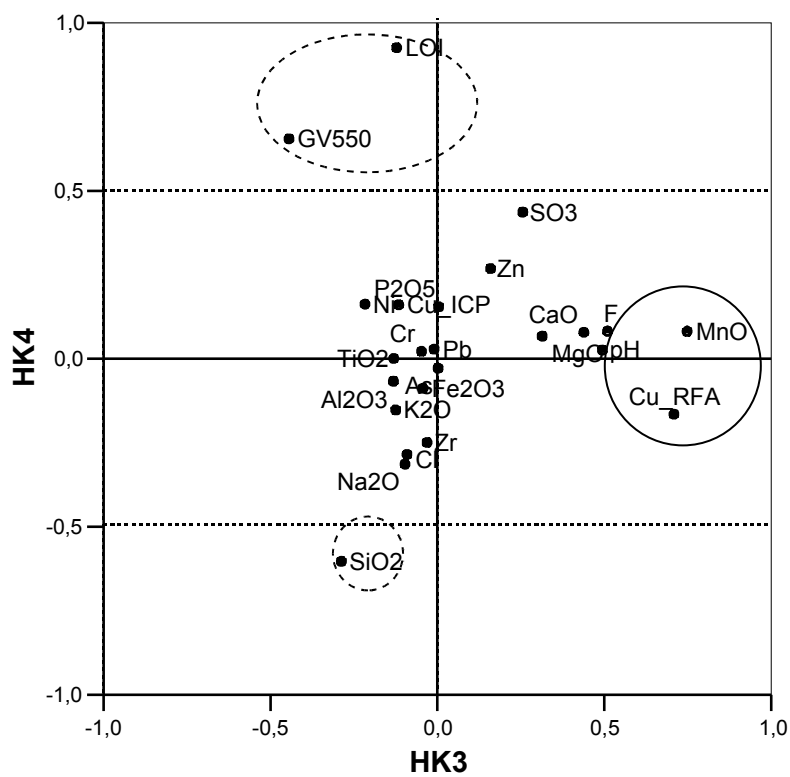


Abbildung 41: Faktorladungen der dritten und vierten Hauptkomponente
 ____ = Markiervariablen 3. HK, ---- = Markiervariablen 4. HK

Die Gruppe der Detritusmudden hebt sich gegenüber den Kalkmudden und Diatomeenmudden deutlich heraus, da sie sehr stark mit der ersten und vierten Hauptkomponente korreliert ist, wohingegen die beiden anderen Gruppen kaum mit dieser korrelieren (siehe Abbildung 40 und Abbildung 41, Tabelle 40). Ein Teil der Detritusmudden ist auch mit der fünften Hauptkomponente korreliert. Dagegen sind, bis auf eine Ausnahme, keine Beziehungen zur zweiten und dritten Hauptkomponente vorhanden. Bei den Proben mit geringerer Korrelation zur ersten Hauptkomponente ist die zur vierten Hauptkomponente umso größer. Hier zeichnen sich zwei Gruppen innerhalb der Detritusmudden ab: kalziumkarbonathaltige und -freie Detritusmudden. Durch die erste Hauptkomponente sind hier Mudden mit einem hohen silikatischen Anteil charakterisiert, während die vierte Hauptkomponente Mudden mit einem hohen LOI aus organischem Kohlenstoff als auch karbonatisch gebundenen Kohlenstoff charakterisiert. Bei dem karbonatisch gebundenen Kohlenstoff könnte es sich sowohl um primäres Kalziumkarbonat als auch um sekundäres Kalziumkarbonat handeln. Dies lässt sich aus der Hauptkomponentenanalyse nicht erkennen. Bei den zwei Populationen bei der fünften Hauptkomponente handelt es sich um die Gruppe der Oberböden, die mit der fünften Hauptkomponente korrelieren, gegenüber den tiefer liegenden Substraten, die keine Korrelation mit der fünften Hauptkomponente aufweisen. Mit der ersten Hauptkomponente wären höchst wahrscheinlich auch Silikatmudden aus lithogenen Silikaten (Sand-, Schluff- und Tonmudden) charakterisiert, wurden aber auf Grund keiner bekannten Fläche mit oberflächennah anstehenden Silikatmudden, hier nicht berücksichtigt.

Die Kalkmudden sind bis auf wenige Ausnahmen nicht mit der ersten Hauptkomponente korreliert (siehe Abbildung 46, S. 101 und Tabelle 40).

Die mit der ersten Hauptkomponente korrelierten Kalkmudden nehmen bezüglich ihrer Zusammensetzung eine Übergangsstellung zwischen Kalk- und Silikatmudden ein, so weisen alle einen vergleichsweise hohen silikatischen Anteil auf (zwischen 20 und 50 Masse-%). Dabei treten sowohl die Variante geringer Glühverlust (ca. 5 Masse-%) bei höherem Kalkgehalt (45 Masse-%) als auch die Variante höherer Glühverlust (10 Masse-%) und geringer Kalkgehalt (10 Masse-%) auf.

Tabelle 39: Absolute Anzahl von positiven Faktorwerten

	N	1. HK	2. HK	3. HK	4. HK	5. HK
Fhg	21	18	8	4	20	14
Fmi	7	2	7	2	0	5
Fmk	80	9	25	54	43	37

Mit Bezug auf die zweite, dritte, vierte und fünfte Hauptkomponente teilen sie sich jeweils in eine Gruppe mit positiver und negativer Korrelation, wobei mit der dritten Hauptkomponente mehr als zwei Drittel des Datensatzes korrelieren (siehe Tabelle 40). Die durch die vierte Hauptkomponente bestimmten Kalkmudden sind wiederum diejenigen Kalkmudden mit einem höheren Glühverlust (bei geringem silikatischen Anteil). Wohingegen die positiv mit der fünften HK korrelierten Kalkmudden aus dem Oberboden stammten.

Die Diatomeenmudden sind mit der zweiten Hauptkomponente sowie mit der fünften Hauptkomponente korreliert, die erste und die dritte Hauptkomponente haben nur bei jeweils zwei Proben Einfluss (siehe Tabelle 40). Die für Diatomeenmudden charakteristischen hohen Eisenkonzentrationen führen aus den oben angeführten Gründen zu hohen Phosphor- und Arsenkonzentrationen.

Die Ergebnisse der Hauptkomponentenanalyse stimmen zu großen Teilen mit Untersuchungen von Rosenbaum-Mertens (2003) und Merkt (1985) überein, in denen in den Sedimenten aus Seen, der sich in einem nur dünn besiedelten Gebiet befindet, in der ersten Hauptkomponente ebenfalls im Wesentlichen die Hauptelemente versammelt waren und in der dritten Hauptkomponente das Element Mangan. Im Unterschied dazu spiegelten Seesedimente aus der industriell stark beanspruchten Region Ruhrgebiet schon in der ersten Hauptkomponente einen hohen Gehalt an Schwermetallen wider (Rosenbaum-Mertens, 2003). Die hier untersuchten Mudden entsprechen somit einem unbelasteten Typus. Der Vergleich mit den extrahierten Hauptkomponenten der Untersuchungen an rezenten Seesedimenten von Rosenbaum-Mertens (2003) zeigt, dass pedogen veränderte Substrate z.T. spezifische Elementkorrelationen aufweisen, wie z.B. der Zusammenhang zwischen Eisenoxiden, Phosphor und Arsen.

Lukashev et al. (1991) weisen anhand von Parameterkombinationen limno-geochemische Provinzen aus. Deren Ursache sind primär eine unterschiedliche Zusammensetzung der Sedimente im Einzugsgebiet sowie klimatische Faktoren (vgl. auch Dean, 1999; Gorham et al., 1983). Auch in den vorliegenden

Untersuchungen deuten sich solche limno-geochemischen Provinzen an. So unterscheidet sich die chemische Komposition der Mudde am Dümmer (Altmoränenland) deutlich von der Komposition der Mudden im Jungmoränenland (Untersuchungsflächen ZIETH, MILD, JAG, ZEH, OB, MOS) bzw. der Thüringer Untersuchungsflächen WEISS und SIEB.

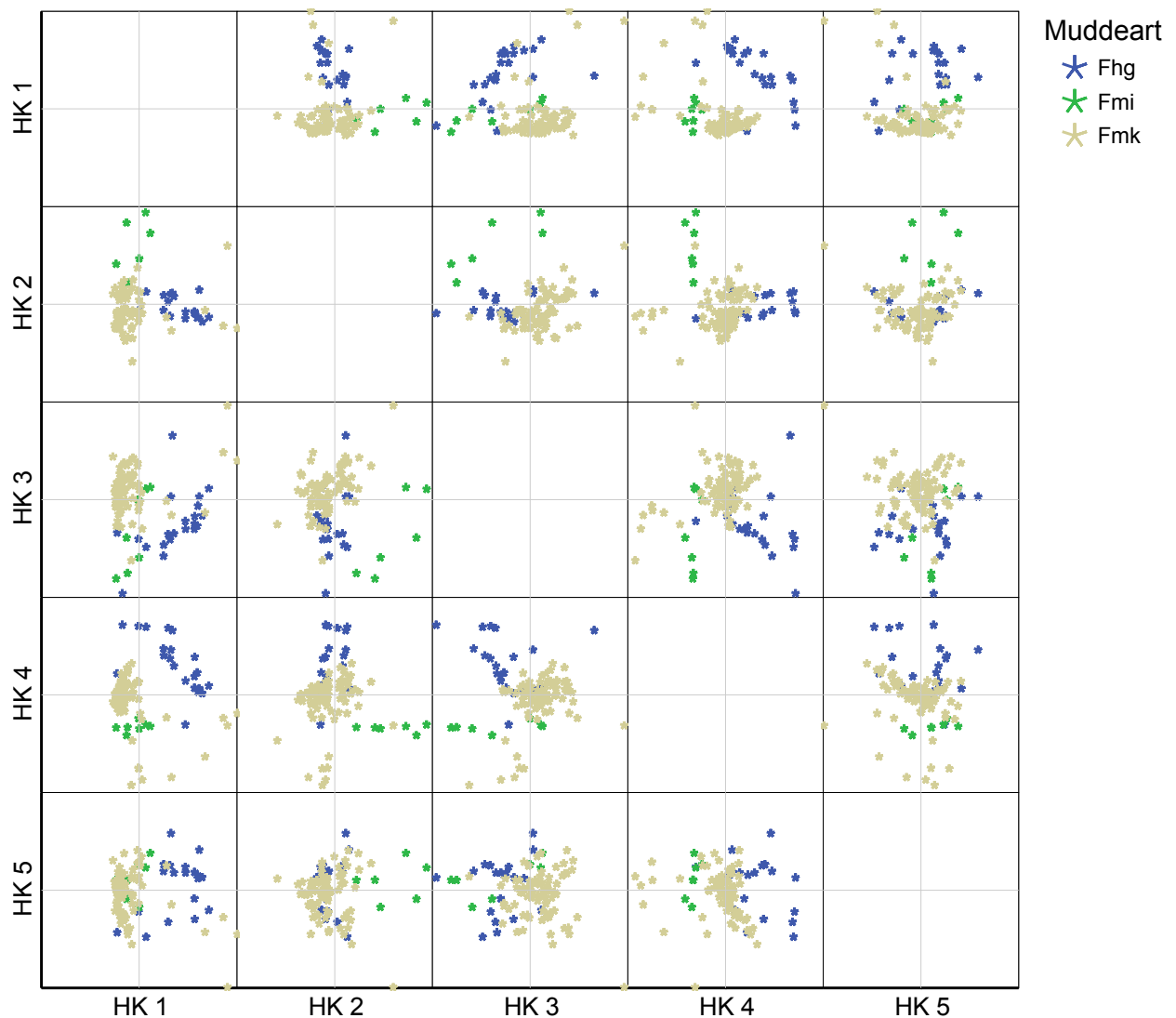


Abbildung 42: Faktorwert-Hauptkomponentenmatrix für Substratarten (Koordinatenursprung=0, min=-3,5, max=3,5)

5.2.2 Horizontbezogene Darstellung der Hauptkomponenten für Kalkmudde

Ein Teil der Go-Horizonte weist erwartungsgemäß eine positive Korrelation zur zweiten Hauptkomponente auf (siehe Abbildung 43, S. 96 und Tabelle 40), bei den nicht korrelierten könnte es sich eventuell um im Gelände falsch als Go statt als Gor angesprochene Horizonte handeln. Bezüglich der dritten Hauptkomponente sind mehr Go-Horizonte korreliert. Die Gruppe der durch Oxidationsprozesse geprägten Go-Horizonte setzt sich somit nur teilweise gegenüber den von Reduktion geprägten Horizonten bezüglich der zweiten und fünften Hauptkomponente ab, diese zeigen allerdings keine Korrelation mit der zweiten Hauptkomponente.

Die durch unterschiedlich intensive Reduktionsprozesse geprägten Gor- und Gr-Horizonte unterscheiden sich hinsichtlich der Hauptkomponentenkorrelation nicht oder kaum voneinander (siehe Tabelle 40). Mit der zweiten Hauptkomponente ist die Mehrzahl der Gor- und Gr-Horizonte negativ korreliert, während beide mit der dritten, von MnO und Cu geprägten, Hauptkomponente korrelieren (siehe Tabelle 40). Oxidationshorizont und Reduktionshorizont unterscheiden sich primär aufgrund des Eisens, während der Mangangehalt in beiden durchaus gleich sein kann. Deswegen ist es auch plausibel, dass sich die Horizonte hinsichtlich der dritten Hauptkomponente nicht unterscheiden. Die Mangankonzentration eignet sich somit nicht als Unterscheidungskriterium zwischen reduktiven und oxidativen Horizonten.

Bei den stark mit der ersten Hauptkomponente korrelierten Proben handelt es sich um die o.g. silikatreichen Substrate. Der positive Zusammenhang mit der fünften Hauptkomponente spricht für eine anthropogene Beeinflussung. Für das „Durchpausen“ von Merkmalen des Oberbodenhorizontes können verschiedene Ursachen genannt werden: vertikaler Stofftransport mit dem Sickerwasser oder eine anthropogene Ein- und Durchmischung durch Bodenbearbeitung.



Abbildung 43: Faktorwert-Hauptkomponentenmatrix für Horizonte aus Kalkmudde (Koordinatenursprung=0, min=-3,5, max=3,5)

6 Physikalische Eigenschaften von Mudden und Muddeböden

6.1 Reindichte und Trockenrohddichte

Die Kalkmudden wiesen experimentell bestimmte Reindichten zwischen $2,4$ und $2,63 \text{ g cm}^{-3}$ auf und erreichten damit nahezu die Reindichte von Quarz ($2,64 \text{ g cm}^{-3}$). Detritusmudden besaßen experimentell bestimmte Reindichten zwischen $1,42$ und $1,87 \text{ g cm}^{-3}$, im Mittel $1,70 \text{ g cm}^{-3}$ (siehe Tabelle 40).

Die Abweichungen berechneter gegenüber experimentell ermittelten Reindichten waren bei beiden Muddearten gering und lagen im Mittel bei Kalkmudden bei $0,1 \text{ g cm}^{-3}$ und bei Detritusmudden bei $-0,05 \text{ g cm}^{-3}$. In der Mehrzahl ergab sich bei den Detritusmudden also eine Überschätzung bei der Berechnung, bei den Kalkmudden dagegen eine Unterschätzung (siehe Tabelle 40).

Tabelle 40: Experimentell und rechnerisch ermittelte Reindichten von Kalk- und Detritusmudden

Substratart	Glühverlust [%]	$dF_{\text{exp}} [\text{g cm}^{-3}]$	$dF_{\text{ber}} [\text{g cm}^{-3}]$	Abweichung
Fmk	6,38	2,56	2,47	0,11
Fhg	56,58	1,70	1,75	-0,05

Die Untersuchungen an Detritus- und Kalkmudden bestätigten den von Schmidt (1988) nachgewiesenen Zusammenhang zwischen Glühverlust und Reindichte (siehe Abbildung 44).

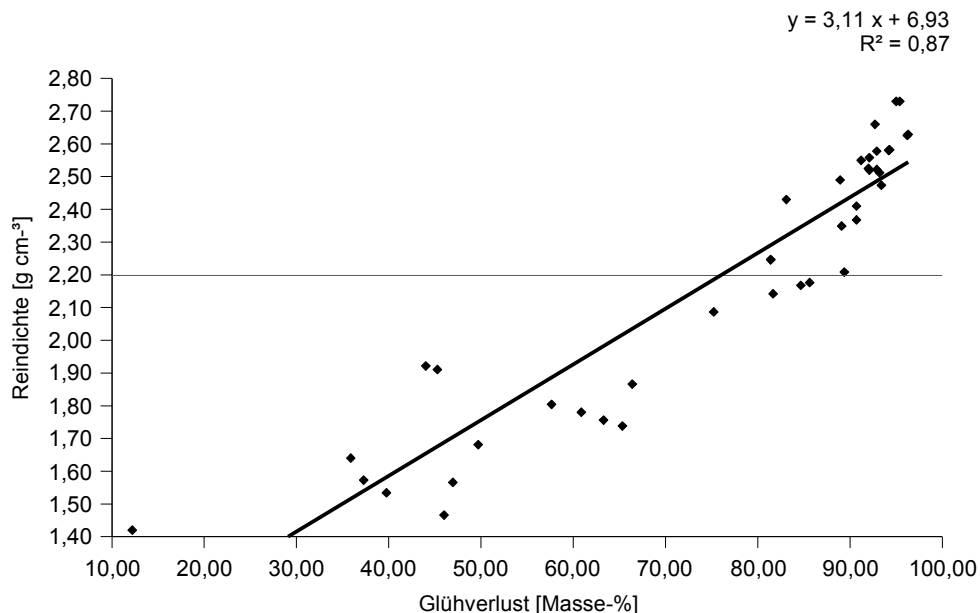


Abbildung 44: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Reindichte

Die Reindichte der Diatomeenmudden wurde nicht experimentell bestimmt. In der Literatur sind Werte zwischen $2,25$ – $2,45 \text{ g cm}^{-3}$ angegeben (Zogg, 1993). Die Berechnung unter Verwendung des Glühverlustes ergab Reindichten zwischen $2,13$ und $2,41 \text{ g cm}^{-3}$.

Mit steigendem mineralischem Anteil nahm die Trockenrohddichte zu, wobei sich allerdings auf Grund der unterschiedlichen Zusammensetzung des mineralischen Anteils aus CaCO_3 , lithogenen und biogenen Silikaten kein sehr enger Zusammenhang ergab ($R^2=0,63$) (siehe Abbildung 45). Der Zusammenhang zwischen Glühverlust und Trockenrohddichte wird z.B. von der setzungsbedingten Zunahme der Trockenrohddichte überlagert.

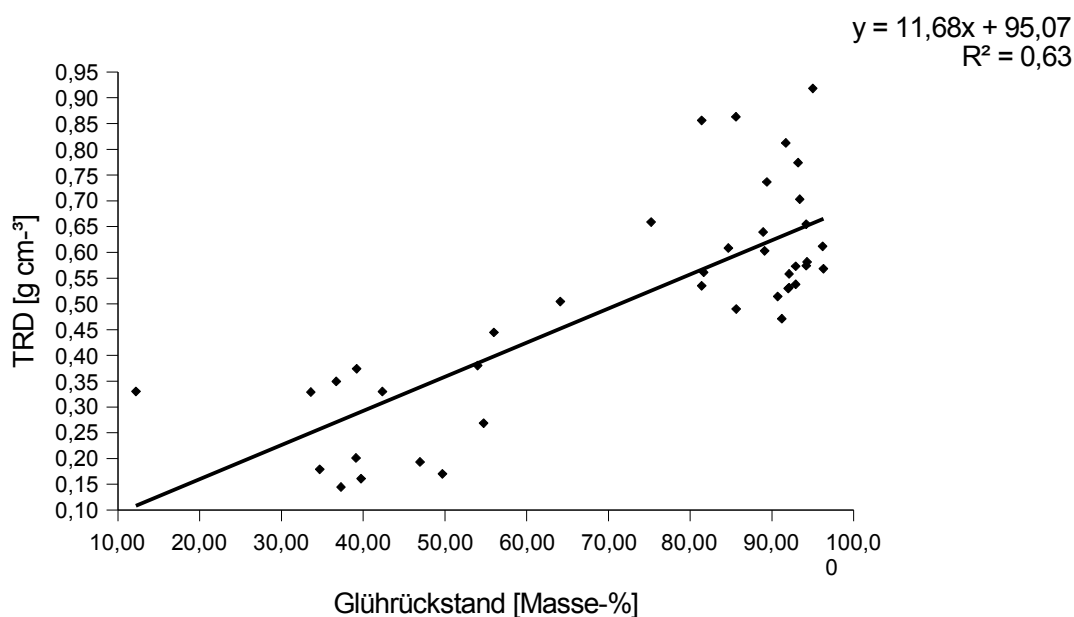


Abbildung 45: Statistischer Zusammenhang zwischen Glührückstand und Trockenrohdichte

Bis auf jeweils einige Ausnahmen, wiesen Detritusmudden Trockenrohdichten zwischen 0,1 und 0,5 g cm⁻³, Kalkmudden zwischen 0,5 und 0,8 g cm⁻³, Silikatmudden (außer Diatomeenmudden) größer 1,0 g cm⁻³ und Diatomeenmudden zwischen 0,3 und 0,6 g cm⁻³ auf. Bei Kalkgehalten > 40 Masse-% wurde in allen Fällen eine Trockenrohdichte < 1 g cm⁻³ festgestellt. Werte größer als 1 g cm⁻³ werden nur erreicht, wenn ein nennenswerter lithogen-silikatischer Anteil enthalten ist. Die ermittelten Trockenrohdichten stimmen mit Trockenrohdichten von Detritusmudden und z.T. tonreichen Detritusmudden aus Untersuchungen polnischer Wissenschaftler überein (vgl. Jurczuk, 1981), die ebenfalls zwischen 0,1 und 0,5 g cm⁻³ liegen.

Adäquat zu den Trockenrohdichten wiesen die Detritusmudden ausnahmslos äußerst geringe Substanzvolumina bei entsprechend großen Porenvolumina auf. Die Detritusmudden zeigten auf beiden Untersuchungsflächen und dort jeweils bei der Mehrzahl der Profile eine deutliche Abnahme der Trockenrohdichte mit der Tiefe. Auch bei den Diatomeenmudden zeigte sich eine tiefenbedingte Abnahme der Trockenrohdichte. Bei den Kalkmudden und Schluffmudden trat dieses Phänomen undeutlich bzw. bei letzteren nicht auf (siehe Abbildung 41). Da die Entwässerung des Bodens mit einer Verringerung des Gesamtporenvolumens einhergeht, wäre eine Zunahme der Trockenrohdichte in Folge der Entwässerung bei allen Substraten, also auch bei den Kalkmudden, zu erwarten. Offensichtlich wird der Effekt durch substratbedingte Schwankungen des Humusgehaltes überlagert und zeichnet sich dadurch nicht oder nur undeutlich ab. So wies z.B. der oberste Horizont in Profil 11, DOBB, mit 24 Masse-% einen doppelt so hohen Glührückstand auf, wie der darunter liegende Horizont. Die dann Folgenden sind allerdings miteinander vergleichbar.

Bezüglich der Trockenrohdichten bei Kalkmudden zeichnen sich keine substratbedingten Unterschiede, die nicht auf den Kalkgehalt sondern auf die Art der Kalke zurückzuführen sind, ab. Bei nahezu gleichen Kalziumkarbonat- und Humusgehalten zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Characeenkalken und den anderen Kalken bezüglich der Trockenrohdichte, allerdings wiesen die aus Characeenkalken bestehenden Horizonte identische Reindichten von 2,63 g cm⁻³ und geringere Einheitswasserzahlen gegenüber den anderen Horizonten der gleichen Fläche auf.

Tabelle 41: Vertikale Verteilung der Trockenrohdichten in verschiedenen Muddearten

Detritusmudde						ZIETH			
MILD									
P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]
3	0,22	4	0,36	5	0,32	1	0,44	13	0,36
↓	0,14	↓	0,21	↓	0,30	2	0,27	↓	0,30
↓	0,13	↓	0,13		0,15			↓	0,32

									0,19
Kalkmudde									
DOBB						OB			
P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD[g cm ⁻³]
4 ↓	0,51 0,60 0,54	5 ↓	0,62 0,66 0,62 0,54	11 ↓	0,66 0,74 0,56 0,49	1	0,65 0,67 0,64 0,56	2 ↓	0,66 0,63 0,64 0,54
Schluffmudde									
WEISS									
P	TRD [g cm ⁻³]	P	TRD [g cm ⁻³]						
3 ↓	1,33 1,14 1,54	1 ↓	1,03 1,16 1,60						
Diatomeenmudde									
DM									
P	TRD [g cm ⁻³]								
8 ↓	0,6 0,5 0,4								

P=Profilnummer, Pfeil bedeutet zunehmende Tiefe

6.2 Wasserspannungskurven verschiedener Muddearten

Die untersuchten Mudden wiesen insgesamt hohe Porositäten auf, die mit zunehmendem Anteil an organischer Substanz anstiegen. Der Anstieg des Porenvolumens mit zunehmenden Anteil an organischer Substanz, insbesondere des Volumens der Poren zwischen 1-5 µm, ist bei verschiedenen Autoren beschrieben (Kirchmann et al., 1999). In Tabelle 42 sind die Mittelwerte, Minima und Maxima von Detritus-, Kalk-, Diatomeen-, Sand-, Schluffmudde, Seekreide und Wiesenmergel aufgeführt.

Tabelle 42: Kennwerte des Bodenwasserhaushalts für verschiedene Muddearten

		GV [Mas se-%]	TRD [g/cm ³]	dF [g/cm ³]	SV [Vol.- %]	GPV [Vol.- %]	FK [Vol.- %]	TW [Vol.- %]	nFK [Vol.- %]	LK [Vol.- %]	GP I [Vol.- %]	GP II [Vol.- %]	MP [Vol.- %]	FP [Vol.- %]
Fhg	N	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83	83
Mittel		57,3	0,3	1,7	16,2	83,8	77,7	39,2	37,7	6,6	6,0	9,5	27,0	40,7
Min		31,1	0,1	1,4	7,9	70,0	56,0	11,1	25,2	7,4	0,0	0,6	15,8	11,6
Max		87,8	0,6	2,0	30,0	92,1	89,0	78,9	68,8	20,7	17,7	23,3	63,5	69,4
Fmk	N	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
Mittel		9,2	0,7	2,5	27,6	72,4	59,8	18,4	41,7	12,5	7,4	10,9	31,4	18,0
Min		3,7	0,5	2,1	18,2	48,1	36,0	4,5	10,0	5,7	0,0	0,9	1,5	4,6
Max		27,5	1,4	2,7	51,9	81,8	78,7	45,9	63,7	38,7	20,6	25,2	57,7	36,8
Fmi	N	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Mittel		18,0	0,6	2,3	24,7	75,3	70,1	43,1	27,0	6,7	3,3	6,3	21,8	43,1
Min		9,0	0,4	2,1	19,4	69,4	63,0	36,9	21,9	2,4	1,8	4,1	9,9	36,9
Max		25,0	0,7	2,4	30,7	80,6	78,0	54,2	33,6	11,7	5,1	10,8	67,1	54,2
Fms	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Mittel		1,4	1,4	2,7	50,9	49,1	43,6	13,8	30,7	5,6	2,3	4,7	26,0	12,9
Min		0,4	1,3	2,7	48,2	45,4	37,6	6,6	23,7	0,1	2,2	3,5	20,7	7,1
Max		2,1	1,5	2,7	54,6	51,8	47,4	21,0	37,8	13,5	2,5	5,6	33,1	20,5

Fmu	N	33	33	33	33	33	33	33	33	33	0	33	33	33
Mittel		11,9	1,2	2,6	46,4	53,6	51,3	33,5	17,8	2,3		5,5	12,3	33,5
Min		1,1	0,6	2,4	25,6	40,1	33,1	13,1	0,30	6,4		0,3	7,7	13,4
Max		18,9	1,6	2,8	59,9	74,4	69,4	44,2	44,1	11,7		10,9	38,3	43,5
Fkk	N	0	3	3	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3
Mittel			1,1	2,6	43,6	56,4	50,6	14,4	36,2	8,3		2,8	33,5	14,4
Min			0,9	2,6	33,9	51,5	44,6	11,0	33,6	6,9		1,2	32,4	11,0
Max			1,3	2,6	48,5	66,2	56,5	17,7	38,8	9,7		4,3	34,5	17,7
Mw	N	0	20	20	20	20	20	20	20	20	0	20	20	20
Mittel			1,4	2,6	52,4	47,6	30,4	13,5	16,9	14,9		7,5	9,4	13,5
Min			0,7	2,2	32,0	34,2	15,9	2,9	3,8	10,1		0,7	8,4	3,5
Max			1,7	2,7	65,8	68,1	54,8	46,3	28,3	20,2		16,5	21,0	46,3

GV=Glühverlust bei 550 °C, TRD=Trockenrohdichte, dF= Reindichte, SV=Substanzvolumen, GPV=Gesamtporenvolumen, FK=Feldkapazität bei pF 1,8, TW=Totwasseranteil bei pF 4,2, nFK=nutzbare Feldkapazität bei pF 1,8–pF 4,2, LK=Luftkapazität bei pF 1,8, GP I=weite Grobporen (> 50 µm), GP II=enge Grobporen (50–10 µm), MP=Mittelporen (10–0,2 µm), FP=Feinporen (< 0,2 µm)

Mit einem Gesamtporenvolumen von rund 84 Vol.-% bei einem Minimalwert von 70 Vol.-% und Maximalwert 92 Vol.-% wiesen die Detritusmudden die größten Porenvolumina auf. Gefolgt von Diatomeen- und Kalkmudden mit rund 75 Vol.-%. Damit liegen diese Mudden deutlich über den für Mineralböden angegebenen Werten. Die Detritusmudden erreichen bzw. übersteigen sogar die Porositäten von Torfen. Die Porositäten von Schluff- und Sandmudde liegen im Bereich, bzw. die Schluffmudden etwas darüber, der für Mineralböden der gleichen Textur angegebenen Werte. Seekreide und Wiesenmergel, beides extrem kalziumkarbonatreiche Substrate, wiesen im Vergleich zu den Kalkmudden deutlich geringere Werte auf.

Das Grobporenvolumen (Äquivalentdurchmesser > 10 µm) beträgt im Mittel zwischen rund 10 und 18 Vol.-%. Die Detritusmudden wiesen im Mittel 15,5 Vol.-% auf, wobei der Anteil enger Grobporen gegenüber den weiten Grobporen überwog. Die Kalkmudden hatten im Mittel ein Grobporenvolumen von 18,3 Vol.-%, wiederum mit einem größeren Volumen im Bereich der engen Grobporen. Die (ackerbaulich genutzten) Diatomeenmudden wiesen ein Grobporenvolumen von 9,65 Vol.-% auf, hier machte der Anteil enger Grobporen fast das Doppelte der weiten Grobporen aus. Unter den untersuchten Muddearten wiesen die Sandmudden mit 7 Vol.-% den geringsten Anteil an Grobporen auf, wobei auch hier der Anteil an engen Grobporen überwog. Die Grobporenvolumina von Detritus- und Kalkmudden machten einen größeren Teil als auf Grund der visuellen Einschätzung erwartet aus. Dabei handelt es sich wahrscheinlich um durch Pflanzenwurzeln erzeugte Poren, die in den strukturstabilen Böden lange Zeit erhalten bleiben. Sowohl die durchwurzelter Oberböden als auch Proben aus größerer Tiefe (vgl. Abbildung 46, S. 103) wiesen mindestens 10 Vol.-% Grobporen auf, mit einem Schwerpunkt bei den engen Grobporen. Demgegenüber erscheint das Grobporenvolumen der Diatomeen- und Sandmudden recht gering, auch deutlich geringer als das für Mineralböden aus Sand und Schluff angegebene Grobporenvolumen (Sand: 30 ± 10 Vol.-%, Schluff: 15 ± 10 Vol.-%, aus Scheffer, 2003, S.166). Auf Grund der in den Diatomeenmudden z.T. hohen Anteile an organischer Substanz könnte das vergleichsweise geringe Grobporenvolumen durch syndesimentäre „Verstopfung“ der Grobporen interpretiert werden. Die gleiche Erklärung scheint auch bei den Sandmudden plausibel. Die gespeicherten Wasservolumina bis zu pF 2,8 sind bei allen Mudden nahezu gleich, unabhängig vom Grad der Entwässerung (siehe Abbildung 46).

Tabelle 43: Wasservolumen bei verschiedenen Saugspannungen in Detritusmudden

Tiefe	GVP [Vol.-%]	Wasservolumen in Vol.-% bei pF < 2,8	Wasservolumen in Vol.-% bei pF 2,8–4,2	Wasservolumen in Vol.-% bei pF > 4,2
0–25 cm	68	10	10	48
25–70 cm	75	10	40	25
> 70 cm	80	10	60	10

Insbesondere bei den Detritus- und den Diatomeenmudden gehen die großen Porenvolumina mit äußerst hohen Feinporenvolumina von mehr als 40 Vol.-% einher. Vereinzelt erreichte Kalkmudde sehr hohe Werte (36 Vol.-%), im Mittel blieben diese aber geringer (18 Vol.-%). Auch die Schluffmudden erreichten vereinzelt, in Abhängigkeit vom Anteil an organischer Substanz, ein Porenvolumen von mehr als 33 Vol.-%. Wiesenmergel wies mindestens einmal ein sehr großes Feinporenvolumen auf, vermutlich ebenfalls bedingt durch einen hohen Glühverlust. Sandmudde erreichte deutlich geringere Werte, plausibel auf die Textur

zurückzuführen und einhergehend mit äußerst geringen Glühverlusten. Allerdings wiesen die Sandmudden im Vergleich zu Mineralböden aus Sand doch deutlich höhere Feinporenvolumina auf (Sandböden: 5 ± 3 Vol.-%, Scheffer, 2002, S. 166). Niedrige Feinporenvolumina der Seekreiden scheinen beim Vergleich zum Feinporenvolumen der Kalkmudden zwar plausibel zu sein, die geringe Stichprobenanzahl gibt vermutlich die Spanne der tatsächlich vorkommenden Volumina nicht wieder.

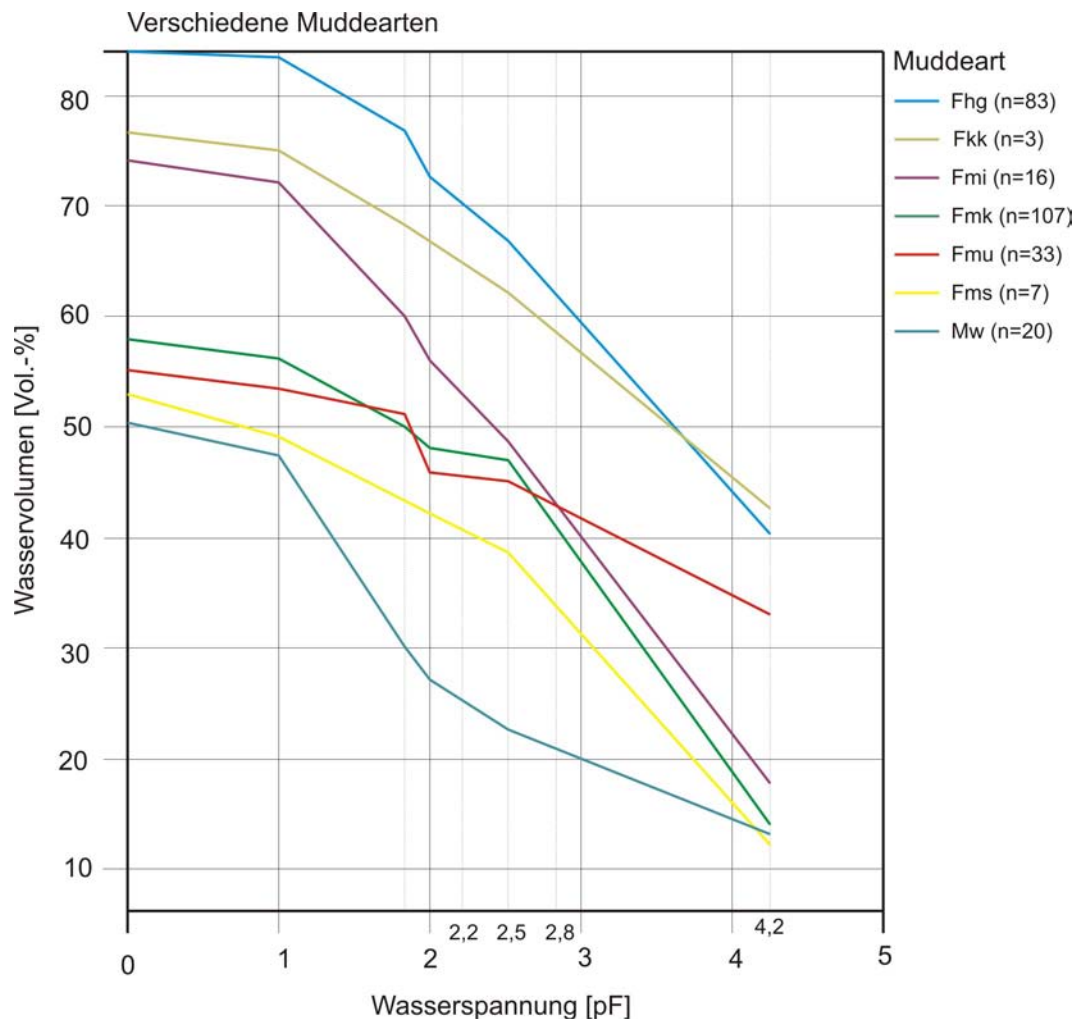


Abbildung 46: Gemittelte pF-Kurven verschiedener Muddearten (n = Anzahl der gemessenen Stechzylinder)

Trotz nahezu gleicher Humusgehalte der Diatomeen- und Kalkmudden treten Unterschiede beim Gesamt- und Feinporenvolumen auf, wobei beide Kennwerte bei den Diatomeenmudden deutlich größer als bei den Kalkmudden sind. Hier zeigt sich die hydraulische Wirkung der Kieselalgenschalen, die einerseits auf Grund ihrer Größe (mU, fU, vgl. Maczey und Chmielewski, 2003) als auch auf Grund der Porosität der Schalen Wasser festhalten.

Bei den Detritusmudden zeigten die Wassergehalte bei pF 4,7 eine Beziehung zu den Glührückständen ($R^2 = 0,861$). Daraus lässt sich zunächst schlussfolgern, dass das bei pF > 4,7 noch verbleibende Wasser zu einem großen Teil an der mineralischen Substanz, also an den Tonmineralen, gebunden ist, da nur in den Detritusmudden ein nennenswerter Anteil (> 30 Masse-%) an Silikaten der Feinsedimentfraktion (< 63 μm) enthalten war.

Allen pF-Kurven gemeinsam ist der relativ flache Verlauf zwischen pF 0 und 2,5 und der steile Abstieg bei pF 4,2. Der steile Kurvenverlauf zwischen pF 2,8 und 4,2 weist darauf hin, dass dem bei diesen Saugspannungen abgegebenen Wasser eine relativ einheitliche Bindungsstärke zuzuschreiben ist.

Gegenüber den steil zu pF 4,2 abfallenden Kurven von Detritus- und Kalkmudden zeigten Schluff- und Diatomeenmudden einen flachen Abfall. Der Anteil an Feinporen gegenüber Mittelporen ist also größer. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Wasserbindung bei einer Saugspannung > pF 4,2 primär durch mineralische Teilchen (< 63 μm macht zwischen 80-98 Masse-% aus) bedingt ist, während organische Substanz „schlagartig“ zwischen pF 3 und 4,2 entwässert. Bei Tongehalten der Diatomeenmudden zwischen 3 und

12 Masse-% (siehe Tabelle 44), beruht dieser Effekt offensichtlich auf den physikalischen Eigenschaften von Partikeln der Schluffgröße, bzw. muss hier noch die Wirkung der Diatomeenschalen, die in ihren hydraulischen Eigenschaften der Tonfraktion näher sind, in Erwägung gezogen werden.

Tabelle 44: Anteil der Korngrößen in Masse-% an der mineralischen Fraktion

Substrat	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS	U gesamt	U+T
Fmu	32,8	19,3	18,8	12,3	11,0	4,6	1,3	50,4	83,1
Fmi	6,93	17,44	36,91	24,72	10,37	2,45	1,15	79,06	85,99

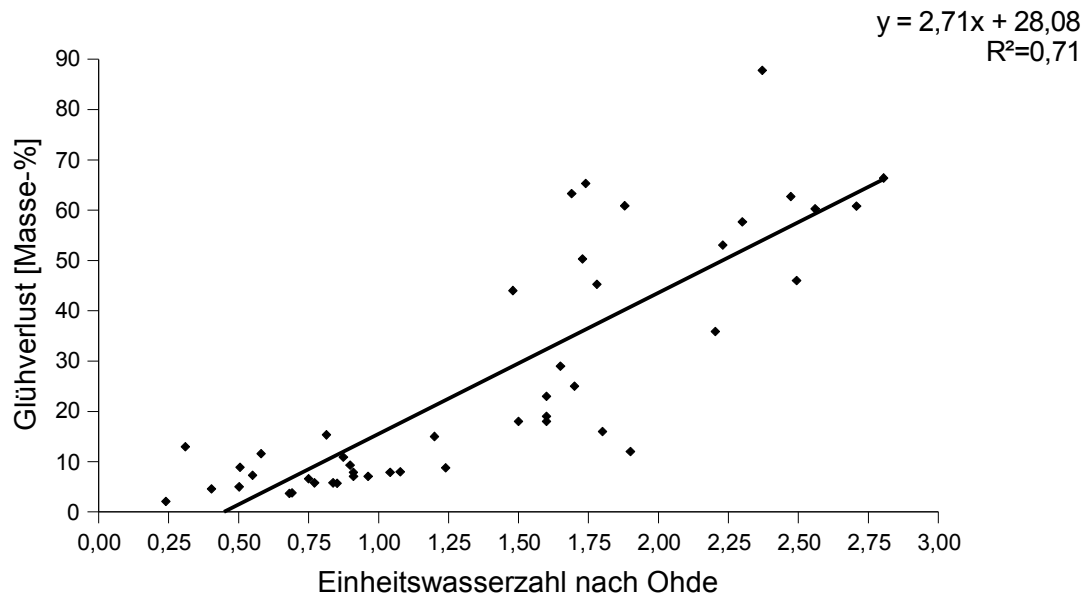


Abbildung 47: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Einheitswasserzahl nach Ohde für Kalk-, Diatomeen- und Detritusmudden

Die Einheitswasserzahl W1 (EWZ) drückt den Wassergehalt des Bodens aus, den dieser unter einer wirksamen Spannung von 100 kPa festzuhalten vermag (Schmidt, 1988). Mit steigendem Humusgehalt nimmt die Einheitswasserzahl zu ($R^2=0,71$) (siehe Abbildung 47).

Damit werden die Ergebnisse von Schmidt (1988) bestätigt. Einzelnen für die Substrate betrachtet, wird der glühverlustabhängige Zusammenhang von anderen Faktoren überlagert und damit „maskiert“, was sich auch in dem mäßig engen Zusammenhang von $R^2=0,71$ widerspiegelt. In Betracht gezogen werden dabei primär entwässerungsbedingte Veränderungen (Veränderungen im Mikrogefüge führen zu einem verringertem Mittelporenvolumen) und bei den mineralischen Mudden zusätzlich das Verhältnis zwischen Kalziumkarbonat und Silikaten sowie der Anteil von Kieselalgen. Unter Weglassung der Diatomeenmudden ergibt sich ein etwas größerer Zusammenhang ($R^2=0,81$) (vgl. Abbildung 48).

Für die untersuchten Diatomeenmudden liegt die Spannweite der EWZ zwischen 1,28 und 2,36. Damit liegen diese hinsichtlich ihres Wertebereiches zwischen Kalk- und Lebermudden (vgl. Schmidt, 1992). Da vor allem die organische Substanz die EWZ beeinflusst und deren Anteil wie auch der Diatomeengehalt am Substrat von Natur aus großen Schwankungen unterliegt, kann der Einfluss der Diatomeenschalen auf die EWZ hier nicht quantifiziert werden (vgl. auch Maczey und Chmielewski, 2003).

Kalkmudden wiesen bezüglich der Einheitswasserzahl eine deutlich geringere Streuung als die Detritusmudden auf.

Untersuchungen von Damicz (2003) an verschiedenen Kalk- und Detritusmudden ergaben einen linearen Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt bei Plastizitätsgrenze und dem Wassergehalt nach Ende eines Ödometerversuches bei einem Druck von 200 kPa. Das bedeutet, dass Mudden mit zunehmendem Feinporenvolumen, wodurch der Wassergehalt bei Plastizitätsgrenze determiniert wird, in der Lage sind, entgegen einem bestimmten Druck (hier von 200 kPa), ein größeres Wasservolumen zu halten. Das bestätigt die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse, bei denen die Mudden mit dem größten Anteil an Feinporen, also die Detritusmudden, die höchsten EWZ-Werte aufwiesen.

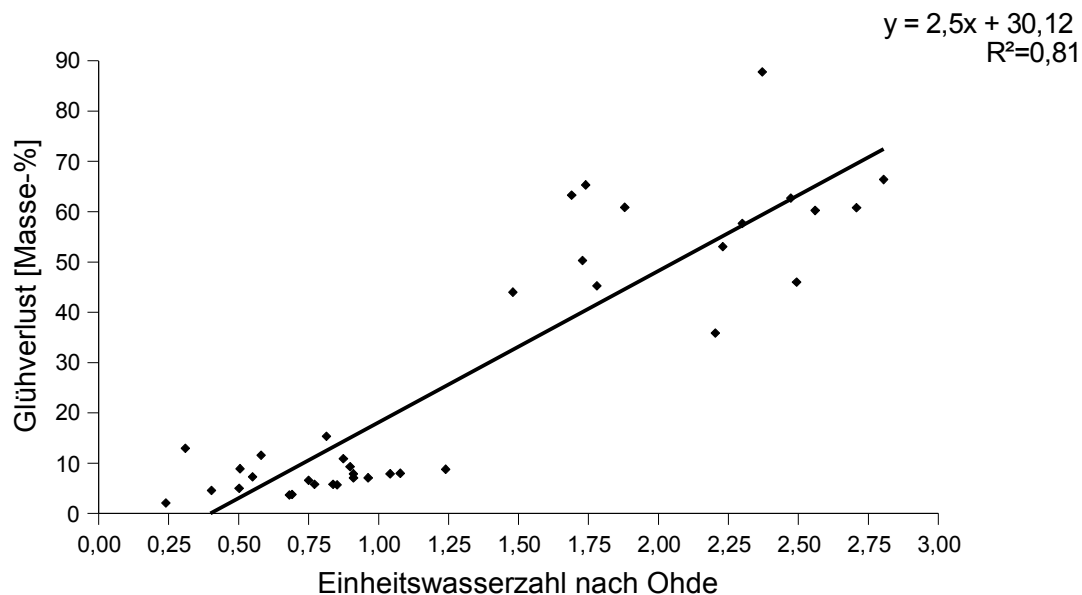


Abbildung 48: Statistischer Zusammenhang zwischen Glühverlust und Einheitswasserzahl nach Ohde für Detritus- und Kalkmudden

Schmidt (1986, 1992a) sowie Zeitz (2001) wiesen auf den Zusammenhang zwischen dem Zersetzungsgrad, dem Bodentyp (bzw. der pedogenen Entwicklungsstufe) und der Einheitswasserzahl bei Torfen hin. Während bei den Torfen die Zersetzung mit einem chemischen Umbau der organischen Substanz und einem Gefügeumbau verbunden ist, wodurch neuartige organische Verbindungen mit anderen chemischen Wasserspeichereigenschaften entstehen (Leineweber et al., 2001) und Gefügeveränderungen zu anderen physikalischen Wasserspeichereigenschaften führen (Zeit, 1988), sind geringere Einheitswasserzahlen bei Detritusmudden primär physikalisch bedingt. Das heißt Mudden durchlaufen bei und nach Entwässerung z.T. irreversible Schrumpfungprozesse. Entwässerungsbedingt kommt es also in den im Schwankungsbereich des Grundwassers befindlichen Horizonten zu einer Verringerung des Gesamtporenvolumens und zu einem Anstieg des Volumens der Feinporen (siehe Abbildung 47, S. 102 und Abbildung 48, S. 103). Dies ist das Ergebnis einer sedimentologisch bestimmten lockeren Lagerung der Einzelpartikel, deren Struktur bei der Bodenschrumpfung zerstört wird. Bekannt ist dieses Phänomen bei der Bildung von Laminen infolge der Ausflockung von Tonpartikeln am Gewässergrund (Hodgson, 1999). Hinzu kommt eine strukturelle Änderung bei thermischen Einflüssen (Österberg et al., 1994). Temperaturerhöhungen, wie sie indirekt nach Entwässerungen vorkommen (infolge einer Verringerung der Wärmekapazität bei abnehmendem Wassergehalt) führen zu einer Umordnung der Struktur von Huminsäuren (ebenda). Als Ergebnis bildet sich die anfangs lockere Struktur, die viel Wasser bindet, zu einer kompakten Struktur um. Verursacht entweder, entsprechend dem Kapillarmodell, durch Poren mit relativ einheitlichem Äquivalenzdurchmesser oder wenn man eine Bindung an Polymere der organischen Substanz annimmt, durch eine spezifische Bindungsstärke zwischen den hydrophilen organischen Randgruppen und den Wassermolekülen. Wahrscheinlich ist ein Zusammenbrechen der sedimentologisch angelegten Lagerungsstruktur der Partikel, in deren Zwischenräumen Wassermoleküle angelagert sind. Thermogravimetrische Experimente an Kalkmudden mit einem Humusgehalt von 20 Masse-% von Zurek-Pysz (1992) zeigten schwache exothermische Effekte (Wärmeabgabe), die auf eine Umstrukturierung von so genannten Kolloiden zurückgeführt wird. Darüberhinaus zeigte sich bei Pressversuchen mit der Triaxialpresse, dass schon bei Drücken über 25 kPa und dann auch in einem engen Druckbereich, eine erhebliche Deformation des Materials auftritt. Die Trocknung war mit einer irreversiblen Schrumpfung verbunden, vertikal von 4,0 % und horizontal von 18,5 % (ebenda). Eine Verringerung des Wassergehaltes der Proben durch Trocknung bis hin zu Lufttrockenheit führte zu einer deutlichen Erhöhung der Druck- und Scherfestigkeit (Rybicki und Zurek-Pysz, 1989). Larsson (1990) wies für tonhaltige Mudden verschiedener schwedischer Untersuchungsflächen die geringste Scherfestigkeit bei den Mudden mit dem größten Wassergehalt nach. Diese lagen auf allen Flächen in einer Tiefe von ca. 2 m (ebenda). Offensichtlich wiesen die hangenden Schichten infolge von Entwässerung und die liegenden Schichten infolge von Konsolidierung jeweils geringere Wassergehalte auf. Die Kompressibilität von Mudden mit einem Anteil an organischer Substanz zwischen 6 und 20 Masse-% erreichte bis zu 40 %. Auch Larsson (1990) fand Scherfestigkeiten unentwässerter Mudden zwischen 24 und 26 kPa, diese Werte stimmen mit den von Zurek-Pysz (1992) gemessenen Werten überein.

6.3 Veränderung der Porenverteilung durch Entwässerung

Zwischen pF 2,8 und 4,2 finden die stärksten entwässerungsbedingten Veränderungen bezüglich der Wasserspeicherfähigkeit statt. Bei einem Teil der Proben erfolgte die Ermittlung des Wassergehaltes zusätzlich bei pF 2,8 und 4,7. Der Kurvenverlauf fällt hier erst bei 2,8 steil ab. Auch wenn bei den anderen Proben diese Stützstelle fehlt, kann angenommen werden, dass der Abfall der Kurve auch hier bei pF > 2,8 erfolgt. Für den Bereich zwischen pF 2,8 und 4,2 kann Berechnung des Wassergehaltes bei pF 3,0 aus der Einheitswasserzahl nach Schmidt 1988 ergab keine sinnvollen Werte.

Hier ergeben sich große Unterschiede zwischen den drei Entwässerungsstufen, mit einer Umkehr der Verhältnisse der Wasservolumina. So konnte der Horizont mit der geringsten Entwässerungsintensität 75 Vol.-% seines gesamten Wassergehaltes im pF-Bereich zwischen 2,8-4,2 speichern, im mäßig entwässerten Horizont waren das noch 53 Vol.-%, während bei den stark entwässerten Horizonten nur noch 15 Vol.-% des Gesamtporenvolumens in diesem pF-Bereich zur Verfügung stand. Umgekehrt dazu verhielten sich die bei pF > 4,2 enthaltenen Wasservolumina: diese stiegen von rund 13 Vol.-% (gering entwässert) über 33 Vol.-% (mäßig entwässert) auf 71 Vol.-% (stark entwässert).

Bei den meisten untersuchten Profilen nahm das Gesamtporenvolumen mit der Tiefe zu (siehe Tabelle 45). Im Mittel war das Gesamtporenvolumen der oberflächennahen Horizonte um 10 Vol.-% geringer als das der Unterbodenhorizonte. Auch wenn die pF-Kurven aus den beiden Untersuchungsflächen ZIETH und MILD unterschiedliche Verläufe haben, lässt sich bei beiden eine Zunahme des Anteils des bei pF > 4,2 festgehaltenen Wasservolumens feststellen. Dies entspricht einer Zunahme des in Feinporen gebundenen Totwasseranteils bei Abnahme des in den Mittelporen gebundenen Wasservolumens.

Zwischen pF 4,2 und 4,7 nehmen bei allen Proben die Wassergehalte stark ab, bei den Oberböden jedoch verhältnismäßig geringer als bei den Unterböden, so dass auch noch bei einer Wasserspannung von > 4,7 die Oberböden vergleichsweise mehr Wasser enthalten. Es erfolgt also eine Erhöhung des Fein- und Feinstporenvolumens infolge der Entwässerung. Vergleichbare Ergebnisse liegen wurden von Piascik et al. (1998) publiziert.

Durch Birnbacher (1958) durchgeführte laborative Versuche zur Quellung und Schrumpfung von Mudden zeigten, dass entwässerte, lufttrockene Proben bei erneutem Befeuchten nur noch einen Teil ihres ursprünglichen Wassergehaltes aufnahmen. Für Lebermudde gibt er 48 Vol.-% an und für Kalklebermudde 37 Vol.-%. Die Proben erreichten dabei nur ungefähr die Hälfte ihres Ausgangsvolumens.

Tabelle 45: Horizontbezogenes Gesamtporenvolumen und Glühverlust von Detritusmudden (GPV: Gesamtporenvolumen, GV: Glühverlust bei 550 °C)

Profil	Horizontnummer/ [cm] Tiefe	GPV [Vol.-%]	GV [Masse-%]
Mild_P1	1/0-25	78,42	60,80
	2/35-35	74,06	54,00
	4/55-70	82,38	33,60
Mild_P2	1/0-25	86,99	40,60
	2/25-35	88,77	65,50
	4 /55-70	90,20	64,00
	5/>70	89,88	50,30
Mild_P3	2/25-35	76,74	87,80
Zieth12	2/30-45	76,91	44,02
	3/45-55	85,94	45,28
Zieth13	2/30-45	80,14	63,29
	3/45-55	81,61	57,66
	4/55-70	89,71	65,32
Zieth14	2/30-45	74,71	66,50
	3/45-55	88,73	50,30

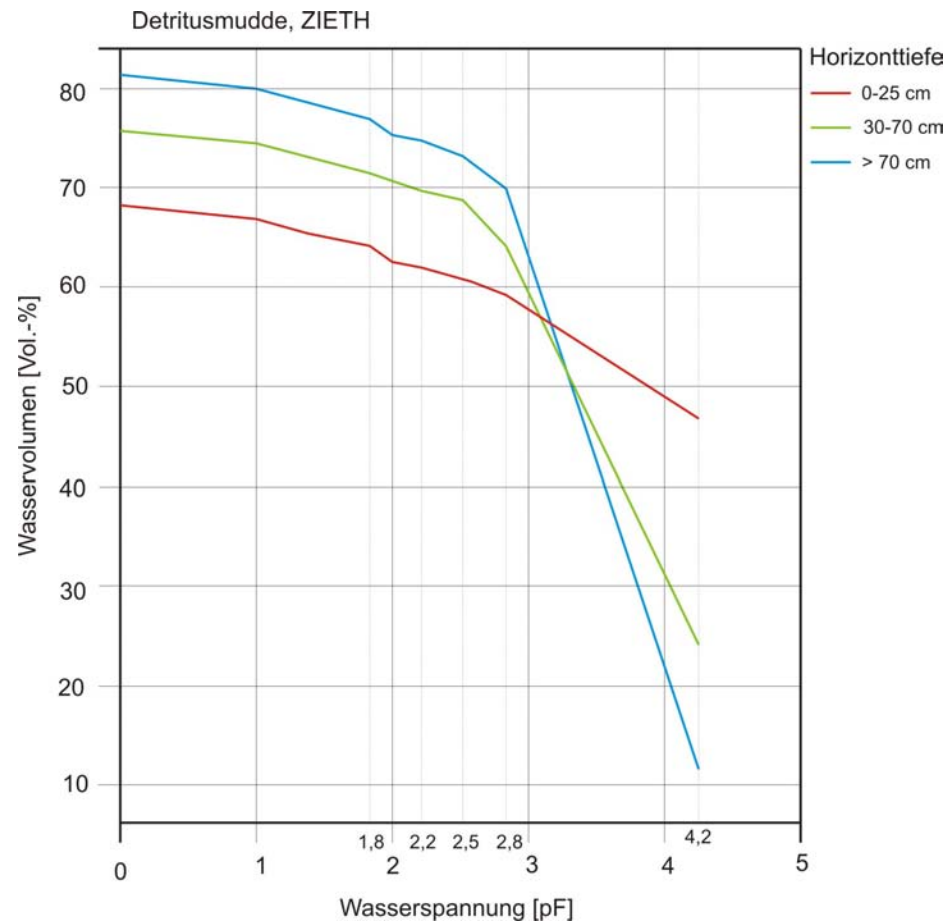


Abbildung 49: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (ZIETH)

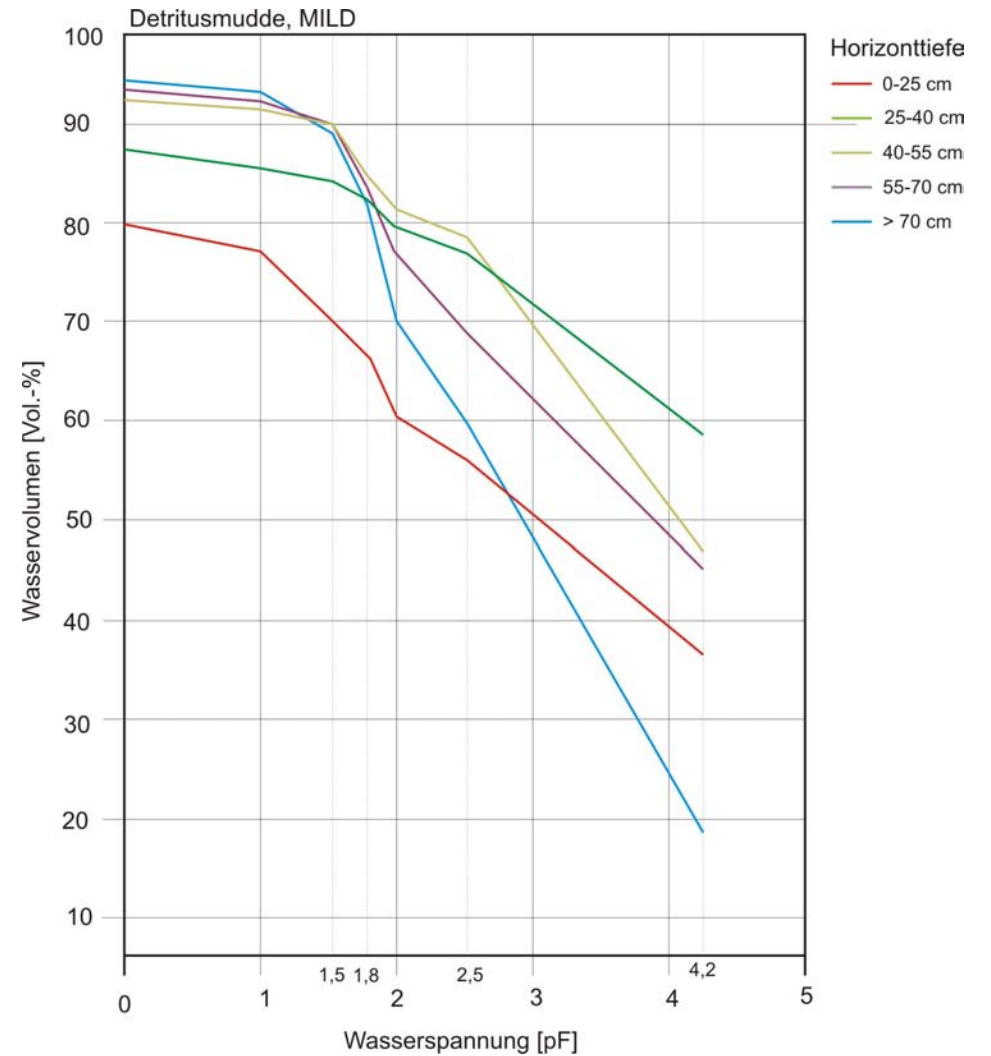


Abbildung 50: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (MILD)

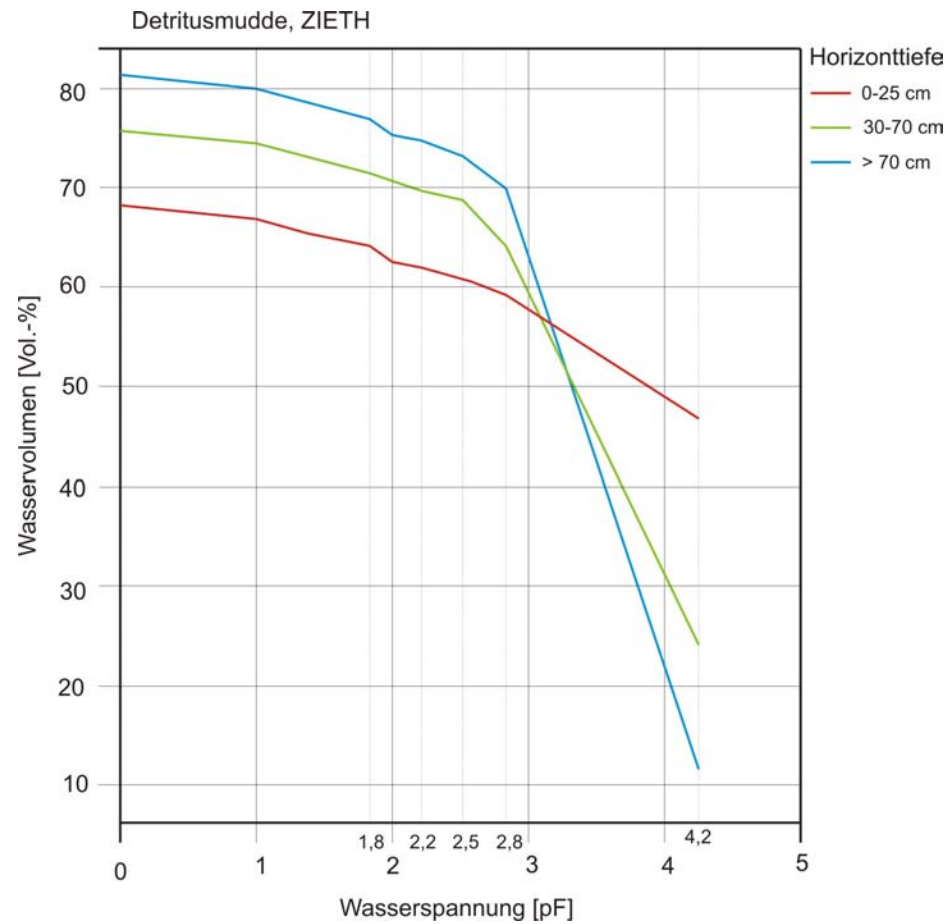


Abbildung 49: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (ZIETH)

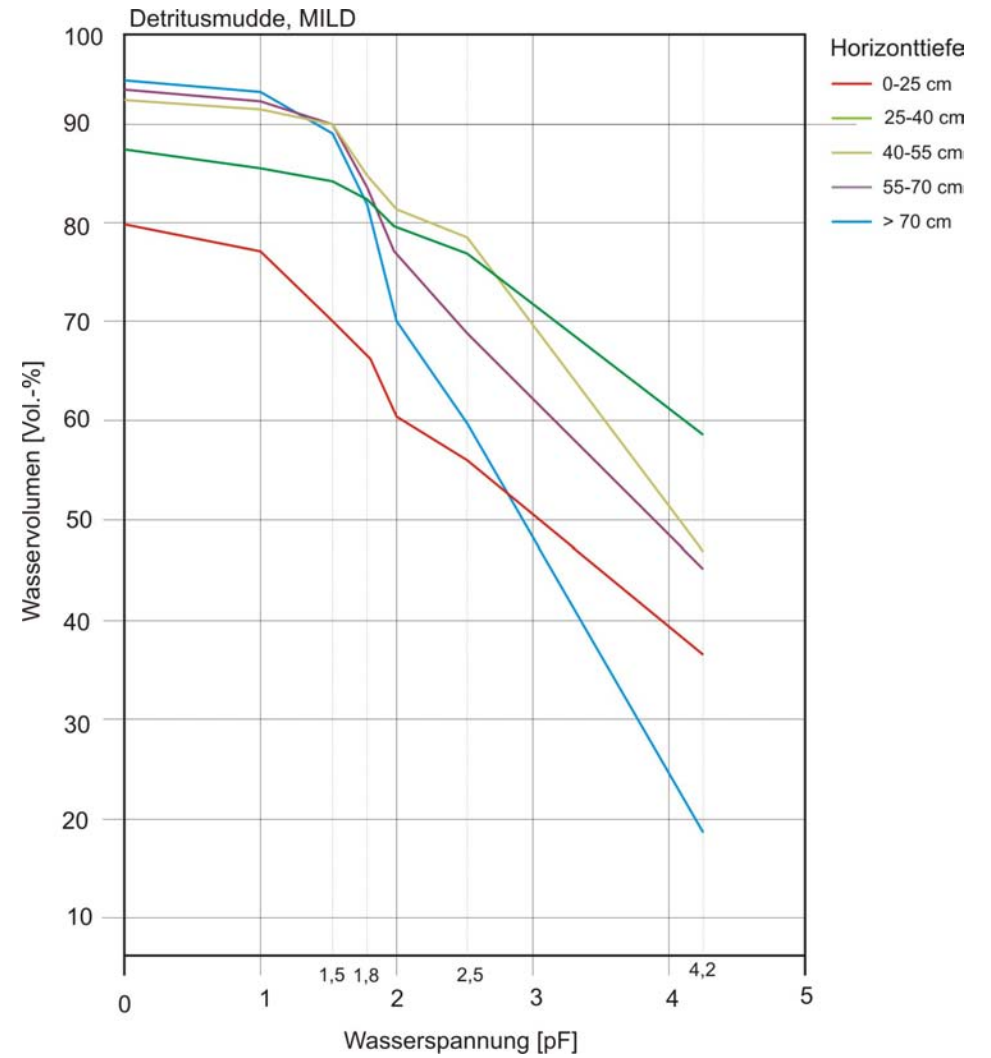


Abbildung 50: Horizontbezogene pF-Kurven von Detritusmudden (MILD)

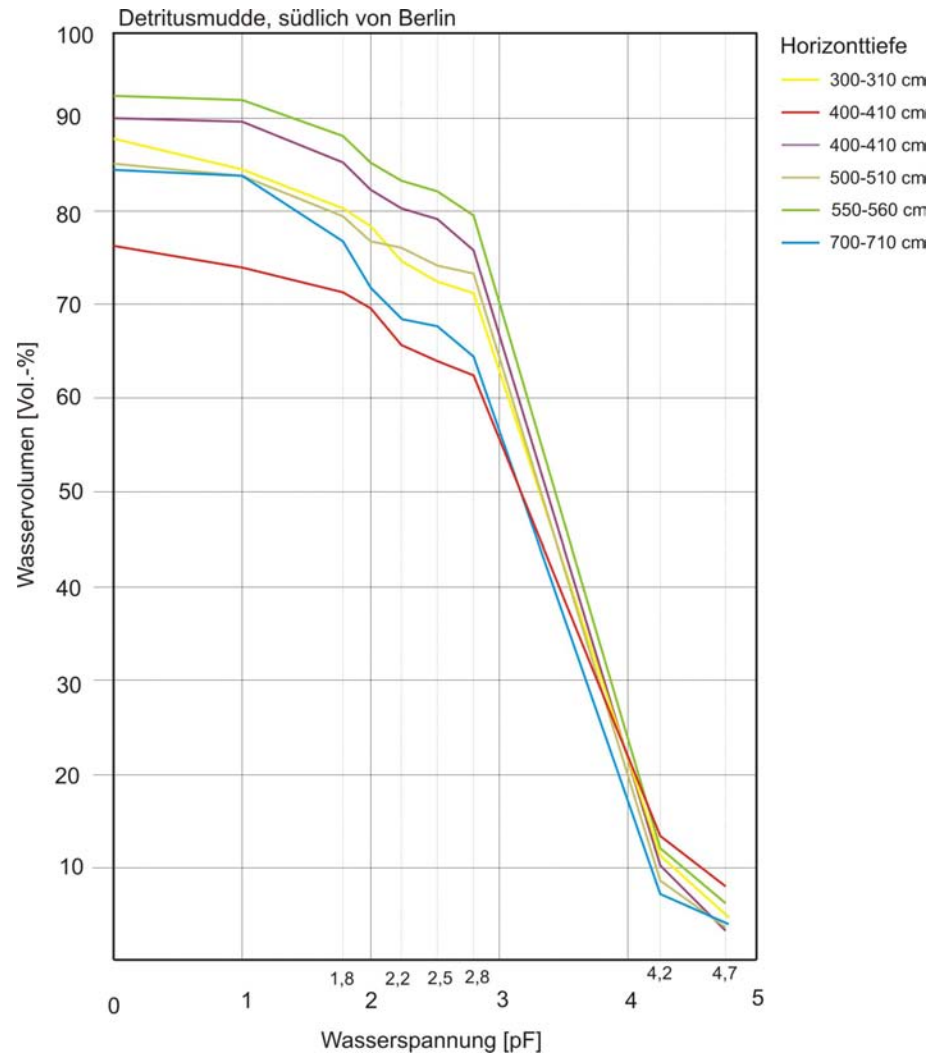


Abbildung 53: pF-Kurven von Detritusmudden (Lebermudden) verschiedener Tiefe aus einem nicht entwässerten Moor (südlich von Berlin, Daten Dr. Lehrkamp)

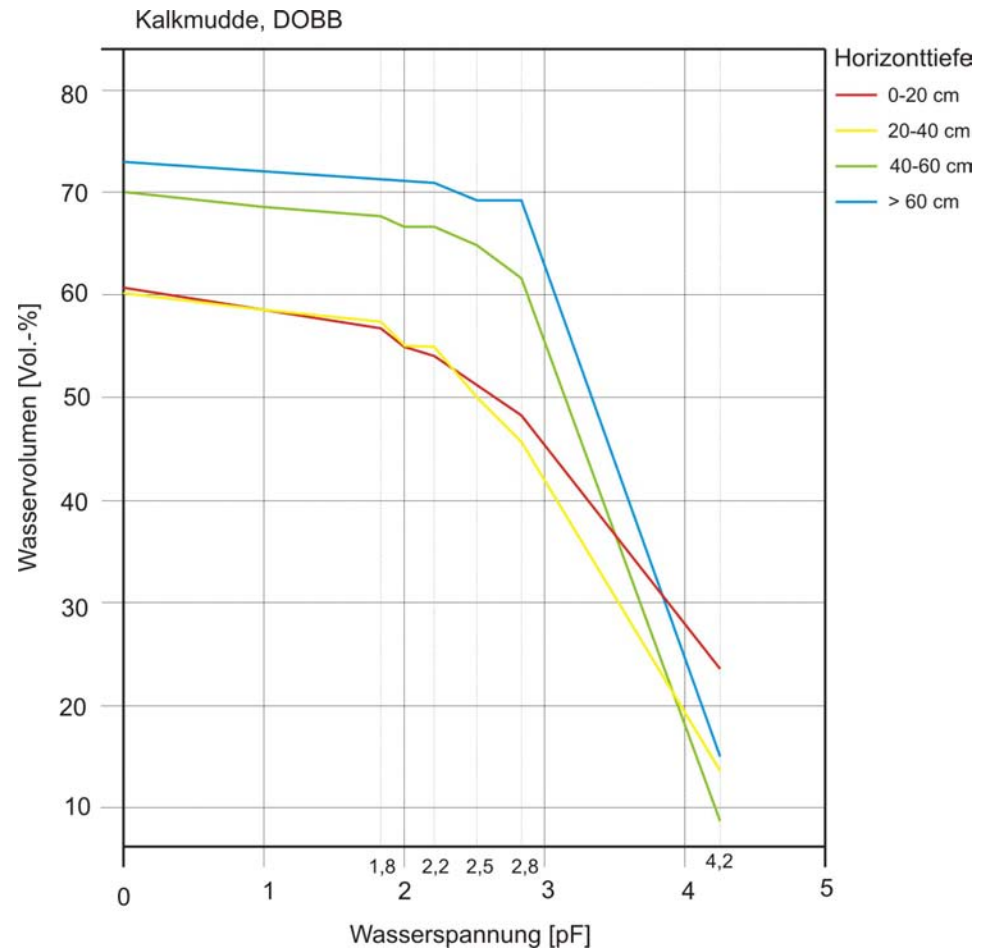


Abbildung 54: Horizontbezogene pF-Kurven von Kalkmudden (DOBB)

6.4 Kennwerte des Bodenwasserhaushalts

Höhere Organismen benötigen Luft, Wasser und Nährstoffe zum Leben. Die Verfügbarkeit dieser drei Kompartimente wird u.a. über die Poren gesteuert und als Wasser- und Lufthaushalt bezeichnet. Dieser hat Auswirkungen auf den Transport (Art und Geschwindigkeit) sowie die Kinetik von chemischen Prozessen. Zur Beurteilung des Luft- und Wasserhaushalts werden meist die Luftkapazität, Feldkapazität und nutzbare Feldkapazität sowie der Wassergehalt am so genannten Permanenten Welkepunkt herangezogen.

Für die untersuchten Mudden sind die Kennwerte in Tabelle 42, S.100 zusammengestellt. Die Luftkapazität, die auf den weiten Grobporen mit einem Äquivalentdurchmesser von $> 50 \mu\text{m}$ beruht, beträgt zwischen zwei und sieben Prozent. Die Detritusmudden mit rund 6 Vol.-%, Kalkmudden mit rund 7 Vol.-% weisen nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005) mittlere Luftkapazitäten auf, Diatomeenmudden mit rund 3 Vol.-% und Sandmudden mit rund 2 Vol.-% geringe. Verglichen mit den Mineralböden entsprechen sie stark tonigen Substraten mit einer hohen Trockenrohdichte (ebenda, S. 344). Bei den Torfen gibt es keinen äquivalenten Wert, am ehesten wäre die Luftkapazität in Detritusmudde mit der eines stark komprimierten nHr-Horizontes zu vergleichen. Uggle (1964) gibt für die Detritusmudden ein nichtkapillares Porenvolumen von $< 1 \text{ Vol.-%}$ an. Differenzen bezüglich der Luftkapazität können durch Substratunterschiede und durch pedogenetische Veränderungen begründet sein.

Als Feldkapazität wurde hier der Wassergehalt bei pF 1,8 verwendet. Dieser liegt zwischen 44 und 78 Vol.-% und ist damit generell als sehr hoch zu bewerten. Mit abnehmendem Wasservolumen ergibt sich dabei folgende Reihung: Detritusmudden mit 78 Vol.-%, Diatomeenmudden mit 71 Vol.-%, Kalkmudden mit 60 Vol.-%, Schluffmudden und Seekreiden mit 51 Vol.-% sowie Sandmudden mit 44 Vol.-%. Auch wenn die Feldkapazität sehr hoch ist, sagt das wenig über die Wasserversorgung von Pflanzen aus, diese wird nämlich durch die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers bestimmt, die sich aus der Differenz zwischen der Feldkapazität und dem Totwassergehalt beim so genannten Permanenten Welkepunkt ergibt. Unter Verwendung der Mittelwerte ergeben sich für alle Muddearten mittlere bis sehr hohe nutzbare Feldkapazitäten in folgender Reihenfolge: Kalkmudden mit 42 Vol.-%, Detritusmudden mit 38 Vol.-%, Seekreiden mit 36 Vol.-%, Sandmudden mit 31 Vol.-%, Diatomeenmudden mit 27 Vol.-% und Schluffmudden mit 18 Vol.-%. Hierbei zeigt sich, wie schon beim Vergleich der Porenvolumina, der zu einem großen Totwasseranteil führende Ton- und Schluffgehalt der Diatomeen- und Schluffmudden. Allerdings weist gerade der Anteil an Feinporen eine große Spannweite auf, die sowohl durch das Substrat bedingt (Anteil an organischer Substanz bzw. Kalziumkarbonat) als auch pedogenetisch bedingt ist. Im Einzelnen kann es daher zu deutlich geringeren nutzbaren Feldkapazitäten kommen. Die für die vorliegende Arbeit ermittelten Werte stimmen sehr gut mit den Messergebnissen anderer Autoren überein (vgl. Jurczuk, 1981; Piascik, 1998). So gibt Jurczuk (1981) für Detritusmudden aus 5-20 cm Tiefe Gesamtporenvolumina von rund 76 Vol.-% und nutzbare Feldkapazitäten zwischen 29 und 35 Vol.-% an. Dabei weist der oberste Horizont (5-10 cm) bei kleinstem Porenvolumen die größte nutzbare Feldkapazität auf. Allerdings sind die Differenzen sehr gering und wahrscheinlich auf geringfügige Substratunterschiede zurückzuführen. Die Messung der Feldkapazität über einen Zeitraum von drei Jahren ergibt Differenzen von maximal 10 Vol.-% (ebenda). Im Mittel liegen die Unterschiede zwischen den Jahren sowie innerhalb eines Jahres bei 3 bis 5 Vol.-% (ebenda). Verglichen mit den Mineralböden entspricht die nutzbare Feldkapazität der Mudden den schluffreichen Böden. Piascik (1998) gibt für Böden aus Detritusmudde ein mittleres Gesamtporenvolumen von rund 79 Vol.-% und aus mineralischer Mudde von 63 Vol.-% an. Die nutzbaren Feldkapazitäten betragen rund 37 und 30 Vol.-% und die Luftkapazitäten betragen 7 und 9 Vol.-%. Die nutzbaren Feldkapazitäten von Kalk- und Detritusmudden entsprechen in etwa denen für amorphe und vererdete Torfe von Velty und Zeitz (2002) und Zeitz (2001) angegebenen Werten.

6.5 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (Geländebohrlochmethode)

Aus methodischen Gründen wurden bei der laborativen Messung der pF-Kurven zwar Grobporen, nicht jedoch Schrumpfungsrisse und durch Bodenbearbeitung entstandene Hohlräume erfasst. Nun sind diese in den entwässerten Mudden jedoch meist weit verbreitet (auf 1 m^2 Fläche kommen ca. $0,3 \text{ m}^2$ Rissfläche) und bedingen einen präferenziellen Fluss.

Auf drei Flächen wurden mittels der Geländebohrlochmethode nach DIN 19682 die gesättigte Wasserleitfähigkeit gemessen (siehe Tabelle 46). Diese Werte sind auf Grund der uneinheitlichen Feldbedingungen als relativ ungenau zu betrachten, geben aber einen Anhaltspunkt über die Durchlässigkeit von Böden.

Tabelle 46: Gesättigte Leitfähigkeit, Bohrlochmethode DIN 19682, zitiert in Eggelsmann (1981), Bewertung nach BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG (2005) (AG Boden 2005) (ausführliche Tabellen siehe Anhang)

Fläche, Profil	Substratart	dh/dt [cm s^{-1}]	Mittelwert abgelesenen Wert [cm d^{-1}]	aus Kf-	Bewertung
ZIETH 14, Tiefe 36 cm	Fhg	0,035	140		sehr hoch
ZIETH 14, Tiefe 60 cm	Fhg	0,098	800		extrem hoch
ZIETH 12, Tiefe 60 cm	Fhg	0,088	760		extrem hoch
DOBB 1, Tiefe 60 cm	Fmk	0,078	580		extrem hoch
DOBB 2, Tiefe 80 cm	Fmk	0,130	870		extrem hoch
KLÄD 1, Tiefe 60 cm	Fmk	0,331	> 1000		extrem hoch

Bei allen Profilen war die gesättigte Leitfähigkeit sehr hoch bis extrem hoch, sie lag bei mindestens 200 cm d^{-1} , meist jedoch über 500 und erreichte oft mehr als 1000 cm d^{-1} . Der Oberboden der Untersuchungsfläche ZIETH wies gegenüber den anderen Profilen bzw. Profiltiefen geringere Werte auf, was wahrscheinlich auf eine Kolmation mit organischer Substanz sowie auf Verdichtung durch Auflast infolge landwirtschaftlicher Nutzung, vor allem Viehtritt, zurückzuführen ist.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse

7.1 Identifikation von Muddearten anhand morphologischer Kriterien

Der Gehalt an organischer Substanz ist das Differenzmerkmal für die Unterscheidung von Detritusmudde gegenüber allen anderen Muddearten. Da Kalk-, Schluff- und Tonmudden immer Humusgehalte aufwiesen, die deutlich unter 30 Masse-% lagen, war deren Abgrenzung gegenüber den Detritusmudden in allen Fällen möglich. Auch Diatomeenmudden mit einem sehr hohen Anteil an Diatomeenschalen ließen sich anhand ihrer beigen bis weißen Farbe, hefeähnlichen Konsistenz, dem schnellen Trocknen an der Luft und ihrem geringen Gewicht nach dem Trocknen identifizieren. Charakteristisch war auch das Auftreten von hellen Linsen, die in dunkle Grundmasse eingebettet waren. Dies kommt in anderen Muddearten nicht vor. Schwierig gestaltete sich dagegen die morphologische Unterscheidung von Detritusmudden und Diatomeenmudden, wenn letztere hohe Humusgehalte aufwiesen. Mehrere Proben der Untersuchungsfläche DM wiesen Humusgehalte zwischen 20 und 40 Masse-% auf, die sowohl hinsichtlich ihrer Farbe als auch ihrer Konsistenz ähnlich waren. In diesen Fällen musste die Ermittlung des Glühverlustes zur Klassifikation herangezogen werden.

Nach der Konsistenz und haptischen Struktur könnten auch Diatomeenmudden und Schluffmudden miteinander verwechselt werden. Schluffmudden sind allerdings meist homogen grau, während diese Farbe bei Diatomeenmudden kaum beobachtet wurde. Eindeutiges Unterscheidungsmerkmal ist letztendlich das Vorkommen der Kieselalgenschalen, was schon mit einem einfachen Schülermikroskop (eingesetzt bei den Geländearbeiten auf den Untersuchungsflächen DM und KLIEK) zu überprüfen ist.

Als zu subjektiv wurde die Zuordnung von organo-mineralischen Mudden nach ihrer Elastizität zu den rein morphologisch charakterisierten Lebermudden empfunden und deswegen in der vorliegenden Arbeit nicht vorgenommen. Insbesondere bei entwässerten Mudden war deren ursprüngliche Konsistenz nicht mehr nachzuvollziehen. Da ausschließlich organische Mudden des detritischen Typs (also aus Resten von aquatischen Organismen entstandene Mudden, im Unterschied zu aus umgelagerten Torfresten bestehenden Torfmudden) untersucht wurden, wurden alle Mudden als Detritusmudde bezeichnet. Weitere Unterteilungen sind nur durch mikroskopische Untersuchungen, wie z.B. Makrorest- und Pollenanalyse, möglich. Es wurde erkannt, dass der Fasergehalt der Mudde einen Einfluss auf die Porenverteilung hat.

7.2 Pedogenetische Veränderungen von entwässerten Mudden - Entstehung von Bodenhorizonten

Alle untersuchten Profile wiesen Merkmale einer Pedogenese auf. Diese bestanden vornehmlich in der Ausbildung eines Aggregatgefüges, während für nicht entwässerte Mudden ein Kohärentgefüge charakteristisch war. Als primäre Ursache der Gefügeentwicklung wurden Schrumpfungs- und Quellungsprozesse identifiziert, von untergeordneter Bedeutung waren Wurzelwachstum und die Aktivität von Bodenlebewesen.

Auf allen untersuchten Flächen traten tiefreichende Risse bzw. Klüfte auf. Diese entstanden durch das Zerreißen des Bodens infolge der Zunahme der Zugspannung nach der Entwässerung. Die Risse waren meist mit lockerem Oberbodenmaterial gefüllt oder auch leer und fungierten als Hauptleitbahnen für Wasser und Luft. Bis zur unteren Grenze der Klüfte traten zusätzlich horizontspezifische Gefügeausprägungen auf. Diese unterschieden sich je nach Muddeart.

In Kalkmudden trat Polyeder- bzw. Blockgefüge auf und die Größe der Aggregate nahm mit der Tiefe zu.

In Detritusmudden ließen sich mehrere Stadien der Gefügeentwicklung erkennen, die von der Entwässerungstiefe abhängig waren. Je trockener ein Horizont war, desto kleiner waren die Aggregate. Für alle untersuchten Detritusmudden war ein Aufspalten der ursprünglich kohärenten Mudde in Platten unterschiedlicher Dicke charakteristisch. Dieses Aufspalten war zum einen geologisch-sedimentologisch bedingt, würde also einem Schichtgefüge entsprechen. Da die Ablösung von Schichten allerdings durch Entwässerung und Bodenschrumpfung verursacht und sichtbar wurde, wurde dieses Gefüge als Plattengefüge aufgefasst. Der Begriff Plattengefüge ist eng mit der Vorstellung von verdichteten Pflugsohlen verknüpft und lässt an große und dichte Gefügekörper denken. Die in den Detritusmudden beobachteten Aggregate wurden, um Verwechslungen zu vermeiden, als Plättchen bezeichnet. Diese sind z.T. nur wenige Millimeter dick und von einigen Zentimetern Größe.

Alle holozänen Mudden waren Bestandteil von Niederungsgebieten und lagen in der Nachbarschaft von Moorflächen. Hohe Grundwasserstände führten zur Akkumulation von Eisen und wechselnde Grundwasserstände zur Oxidation bzw. Reduktion der herantransportierten Eisenverbindungen, verbunden mit der Ausbildung von Reduktions- und Oxidationshorizonten. Verbreitet traten Eisentapeten auf den Gefügekörpern auf, in Kalk- und Diatomeenmudden auch hydromorphe Merkmale in fleckenhafter Verteilung.

Die Entstehung von Muddeböden lässt sich analog der Pedogenese in Torfen in drei Phasen aufgliedern: Aufbau, Erhaltung und Abbau. Beide Typen der Muddemoorbildung können zur selben Horizontabfolge und damit zu denselben Bodentypen führen.

Anhand der in Tabelle 47 angegebenen diagnostischen Parameter, können die Horizonte, aus denen sich die Muddeböden zusammensetzen, identifiziert und beschrieben werden.

Tabelle 47: Diagnostische Merkmale von Muddeböden

Merkmalsgruppe	Merkmale
Genese	- Seeablassung, Abtorfung - Mineralisierung von geringmächtigen aufliegenden Torfdecken
Gefüge	- Fh: Krümel, Plättchen, Platten, Kohärenz (stark verdichtet, wenig verdichtet) - Fmk: Polyeder unterschiedlicher Größe - Gefügestabilität in Abhängigkeit von Feuchtigkeitsgehalt und Art der Kalke (Kalkausfällungen oder Schill oder Characeenreste)
Konsistenz, Plastizität	- breiig, weich, fest, elastisch, plastisch
Farbe	- Fhg überwiegend grünlich, bis hin zu grau und braun - Fmk weiß, beige, rötlich, gelb, selten schwarz - Fmi weiß, grünlich, gealtert rot und gelb, selten blau
Hydromorphie	- Rostflecken, Nassbleichung => Färbung
Kalkgehalt	- 0-5 Masse-%, 5–25 Masse-%, 25–50 Masse-%, 50–75 Masse-%, > 75 Masse-%
Beimengungen	- Schnecken, Mollusken, Pflanzenreste

Merkmalsgruppe	Merkmale
Organische Substanz	- Gehalt Masse-% - Größe der Pflanzenreste (z.B. faserig und amorph, analog zu histic/sapric in der WRB bzw. US Soil Taxonomy)
Textur	-Verhältnis Sand/Schluff/Ton, Gehalt an Kies
Anthropogene Überprägung	- Umlagerung, gepflügt, Auflagerungen (z.B. Sand, Mergel)

7.3 Charakterisierung von Muddearten anhand von chemischen Parametern

Die Spannweite des Gehaltes an organischer Substanz lag für alle untersuchten Proben zwischen 2 und 92 Masse-%. Auch wenn nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994 und 2005) der Mindestgehalt an organischer Substanz für Mudden bei 5 Masse-% liegt, wurden Proben mit einem geringeren Gehalt einbezogen, wenn sie Mollusken- bzw. Diatomeenreste aufwiesen und damit limnischen Ursprungs waren. Auf den Untersuchungsflächen kamen im Mittel folgende Glühverluste vor (vgl. Tabelle 48).

Tabelle 48: Flächenbezogene Glühverluste

Fläche	dominierende Muddeart	n	Mittelwert [Masse-%]	Standardfehler [Masse-%]
ZIETH	Detritusmudde	49	53,44	2,51
MILD	Detritusmudde	39	60,15	3,72
ZEH	Kalkmudde	11	30,86	6,11
DOBB	Kalkmudde	43	13,21	0,97
JAG	Kalkmudde	26	18,47	4,04
RHIN	Kalkmudde	18	29,35	6,95
MOS	Kalkmudde	11	6,55	1,68
OB	Kalkmudde	33	16,48	2,32
DM	Diatomeenmudde	27	32,49	4,19
KLIEK	Diatomeenmudde	2	6,90	4,90
SIEB	Kalkmudde	4	8,99	1,81
WEISS	Schluffmudde	14	12,09	1,07

n = Anzahl der analysierten Horizonte

Die Spanne der pH-Werte aller untersuchten Horizonte liegt zwischen 3,8 und 7,8. Mit rund 60 % am Gesamtdatensatz war die überwiegende Anzahl schwach alkalisch, 35 % waren schwach sauer und nur 5 % der Mudden hatten pH-Werte unter 5 und waren damit mäßig bis stark sauer (siehe Tabelle 49).

Tabelle 49: Mittlere pH-Werte der Muddarten

Muddeart	Fhg	Fmi	Fmk	Fmt	Fmu
pH	6,25	4,97	7,54	7,29	7,44

Die Ermittlung von Konzentrationen der Einzelelemente sowie Korrelationen zwischen einzelnen Elementen erbrachte eine weitgehende Bestätigung bekannter Phänomene und Zusammenhänge, wie z.B. der Bindung von Phosphor an Eisenoxide und von Schwermetallen an die organische Substanz.

In einer statistischen Strukturanalyse wurden die Hauptelemente und ausgewählte Spurenelemente mit dem Ziel untersucht, charakteristische Merkmalskombinationen und Stoffgruppen zu identifizieren und anhand derer ein Klassifikationsschema zu erarbeiten. Dabei zeigte sich, dass die Hauptkomponentenanalyse verschiedene Zusammensetzungen und Eintragsmuster sichtbar machen kann. Die erste Hauptkomponente enthält primär den lithogen gebundenen Elementanteil und repräsentiert damit den erosiv-partikelgebundenen Eintrag aus dem Einzugsgebiet. Die zweite Hauptkomponente spiegelt die redoxsensitive Entstehung von pedogenen Eisenoxiden und deren Rolle als Bindungspartner für Phosphor und Arsen wider. Auch die dritte Hauptkomponente macht einen pedogenen Anreicherungsprozess sichtbar,

nämlich die Bindung von Kupfer an Manganoxide (im Unterschied dazu tritt Kupfer in der ersten Hauptkomponente in silikatischer Bindung auf). Die vierte Hauptkomponente charakterisiert kalkhaltige C_{org}-reiche Proben mit geringem silikatischem Anteil und repräsentiert damit wiederum ein geogenes Bildungsprinzip. Im Unterschied zu allen anderen Hauptkomponenten zeigt sich in der fünften Hauptkomponente ein anthropogen verursachtes Phänomen, nämlich die Anreicherung der Oberböden mit typischen Schwermetallen von KFZ- und industrietypischen Immissionen.

Da die Mudden bezüglich ihrer Zusammensetzung ein Kontinuum darstellen, sie also große Spannweiten beim Anteil an organischer Substanz, Kalziumkarbonatgehalt und silikatischem Rest aufweisen, bilden die einzelnen Muddearten Cluster, die sich teilweise überlagern. Insgesamt lässt sich allerdings sagen: die organischen Mudden korrelieren vor allem mit der ersten und der vierten Hauptkomponente, während die Kalkmudden und Diatomeenmudden mit dieser Hauptkomponente kaum korrelieren. Die Diatomeenmudden korrelieren mit der zweiten Hauptkomponente. Die Kalkmudden korrelieren vor allem mit der dritten Hauptkomponente. Die Oberböden korrelieren mit der fünften Hauptkomponente.

7.4 Charakteristische physikalische Eigenschaften und deren Veränderung bei Entwässerung und Pedogenese

Alle untersuchten Mudden wiesen große bis sehr große Porenvolumina auf. Mit Abstand die größten Gesamtporenvolumina besaßen die Detritusmudden mit bis zu 80 Vol.-%. Auch die Kalkmudden wiesen mit bis zu 74 Vol.-% große Porenvolumina auf. Bezüglich der Wassergehalte im gesättigten Zustand nehmen die Mudden folgende Reihenfolge ein: Fhg > Fmi > Fmk > Fkk > Fmu > Fms. Wiesenmergel wies demgegenüber die geringsten Wassergehalte und damit die geringsten Porenvolumina auf.

Neben der Textur scheint die sedimentologisch angelegte lockere Lagerungsart nicht entwässerter Mudden zu den großen Porenvolumina beizutragen. So wiesen auch Sand- und Schluffmudden mit einem geringen Anteil an organischer Substanz deutlich höhere Porenvolumina als terrestrische Böden mit vergleichbarer Textur auf.

Die Menge des zwischen pF 2,5 bzw. 3,0 und 4,2 gebundenen Wassers macht mit bis zu 60 Vol.-% einen großen Anteil aus. Damit überwiegt das in den Mittelporen gebundene Kapillar- und Adsorptionswasser deutlich gegenüber dem frei mit der Schwerkraft beweglichen Wasseranteil. Da dieses Phänomen sowohl bei den Detritus- als auch bei den Kalkmudden und in abgeschwächter Ausprägung auch bei den silikatischen Mudden auftrat, wird vermutet, dass bei einer bestimmten und bei allen Mudden gleichen Spannung ein Zusammenbruch der sedimentologisch angelegten Struktur auftritt. Dafür spricht auch die dabei festgestellte teilweise irreversible Schrumpfung.

Die Entwässerung führt zu einer Abnahme des Gesamtporenvolumens und bei Detritus- und Kalkmudden zu einem deutlichen Anstieg des bei pF > 4,2 enthaltenen Wasservolumens bei Verringerung des zwischen pF 2,5 und 4,2 gespeicherten Wasservolumens.

8 Schlussfolgerungen

8.1 Vorschläge zur Klassifikation von Muddesubstraten und -böden

Bei der Substrat- und Bodenansprache im Gelände zeigte sich, dass die Anwendung der auf morphologischen Kriterien beruhenden Muddeartenklassifikation entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) in einigen Fällen schwierig war, da die Beschreibung der Merkmale subjektiv und abhängig von der Erfahrung des Bearbeiters ist. Für die sichere Anwendung der gegenwärtigen Einteilung wären neben makroskopischer Ansprache auch mikroskopische Arbeitsmethoden nötig, um z.B. die Algensubstanz der so genannten Lebermudde zu identifizieren. Da die mikroskopische Bestimmung aufwändig ist und dafür spezielle Kenntnisse benötigt werden, ist sie für bodenkundliche Zwecke unpraktikabel, bzw. wird nur bei Fragestellungen angewandt, die über allgemeine bodenkundliche Aufnahmen hinausgehen. Für landschafts- und moorkundliche Fragestellungen sollte indes auf eine möglichst detaillierte Beschreibung nicht verzichtet werden. Dazu können auch aus der Umgangssprache entlehnte Begriffe verwendet werden, wenn sich die Merkmale nicht anders fassen lassen. Derartige verbale Beschreibungen sind allerdings eingeschränkt überprüfbar und reproduzierbar. Das zeigte sich bei der Klasse der organo-mineralischen Mudden, bei der die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) ausgewiesenen Typen Lebermudde, Torfmudde und Detritusmudde auf Grund vielfacher Übergänge und fehlender diagnostischer Merkmale in gering konsolidiertem Zustand schon schwierig zu differenzieren waren, und dies für entwässerte Mudden, die einer aktuellen Pedogenese unterliegen, kaum möglich war.

Außerdem finden in den Bezeichnungen verschiedene Prinzipien Anwendung: Während die Lebermudde

nach ihrer Konsistenz und ihrem Aussehen benannt wird, werden die Torfmudde und Detritusmudde nach ihrer Zusammensetzung gekennzeichnet, wobei der Begriff „Torfmudde“ zugleich mit einer komplexen Genese verbunden ist, nämlich der Aufbereitung von Torf durch seeinterne Strömungen, Wellenschlag oder Wind. Dies impliziert: Es ist ein Moor vorhanden – das kann ein Schwingmoor oder ein Verlandungssaum sein. Die Bildung der Mudde ist also eng mit dem genetischen Begriff Moor verknüpft. Der Torf wurde durch mechanische Kräfte angegriffen, zerkleinert und umgelagert (3 Prozesse!). Das Sediment besteht jedoch nicht ausschließlich aus verlagerten Torfresten – dann würde es nicht als Mudde angesprochen – sondern es müssen auch feinklastische organische und anorganische Partikel vorhanden sein.

Während der Geländearbeiten wurden auf zwei Flächen ein Sediment aufgefunden, was der Definition der „Torfmudde“ nahe kam. Bei den Flächen handelte es sich um Kesselmoore, deren Verlandungsprozess sich häufig durch Schwingmoordecken vollzieht (vgl. Timmermann, 1999; Succow, 1988; Succow et al., 2001). In der Moorkunde werden diese Ablagerungen häufig als Sinktorfe bezeichnet. Stattdessen wird der Begriff „Torfmudde“ manchmal für Übergangsbildungen der Verlandungsphase von Seen verwendet. Also für Ablagerungen, die in, durch torfbildende Makrophyten besiedelte, Flachwasserbereichen gebildet werden, wo Sedimentation und Sedimentation syngenetisch auftreten. Für bodenkundliche Zwecke im Rahmen der Landesaufnahme ist eine Einteilung zweckmäßig, die auf diagnostischen Parametern, die sich relativ sicher im Gelände bestimmen lassen, beruht.

Prinzipiell sollten die Daten vor der Verwendung in einem übergeordneten Datenpool, wie z.B. in der bodenkundlichen Landesaufnahme nach diagnostischen Kriterien harmonisiert werden.

Basierend auf den in den vorigen Kapiteln dargestellten chemischen und physikalischen Untersuchungen sowie Erfahrungen aus den Profilaufnahmen im Feld wird im Folgenden ein Schema für die bodenkundliche Kennzeichnung und Klassifikation von Mudden vorgestellt. Das Schema beruht auf diagnostischen Kriterien und lehnt sich an andere Klassifikationen, wie die US Soil Taxonomy (Golden, 2003) und die World Reference Base of Soil Resources (FAO, 1998) an.

Merkmale, die auf genetische Prozesse zurückgeführt werden, werden bei der bodenkundlichen Klassifikation weggelassen. Zusätzlich werden tabellarisch alle Muddearten, die entweder in der Literatur beschrieben wurden bzw. durch die Autorin *in situ* aufgefunden wurden, zusammengestellt. Dies lehnt sich an das Schema der Torfartenbestimmung an, wo ebenfalls die Möglichkeit besteht, die floristische Zusammensetzung der Torfe genauer zu charakterisieren, wobei auch verbale Beschreibungen, genetische Einordnungen usw. verwendet werden.

8.1.1 Substratklassifikation

Zunächst wird vorgeschlagen, den Mindestanteil an organischer Substanz für die Kennzeichnung der Mudden dem der Horizonte der subhydrischen Böden (Symbol: F) anzugleichen. Damit verringert sich der Mindestanteil von gegenwärtig 5 Masse-% auf 1 Masse-%. Damit würden limnische Sedimente, die nur einen äußerst geringen Anteil an organischer Substanz aufweisen, wie z.B. bei Kieselguren und Kalkmudden festgestellt, in die Systematik der Mudden und dann weiterhin auch der Böden aus Mudden aufgenommen.

Abbildung 55 zeigt ein Schema zur Klassifikation der Muddesubstrate für eine bodenkundliche Geländeaufnahme. Darin wird vorgeschlagen, statt wie bisher zwei Obergruppen, nun drei Obergruppen auszuweisen. Für deren Unterscheidung werden im Wesentlichen die diagnostischen Merkmale verwendet, die bisher in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) verwendet wurden. In der nächsten Hierarchieebene kommen verschiedene Unterteilungskriterien zur Anwendung, die allesamt messbar und damit ebenfalls diagnostisch sind. Muddetypen, die nur anhand morphologischer und genetischer Kriterien unterscheidbar sind, werden in der Abbildung nicht aufgeführt, jedoch weiter unten im Text beschrieben.

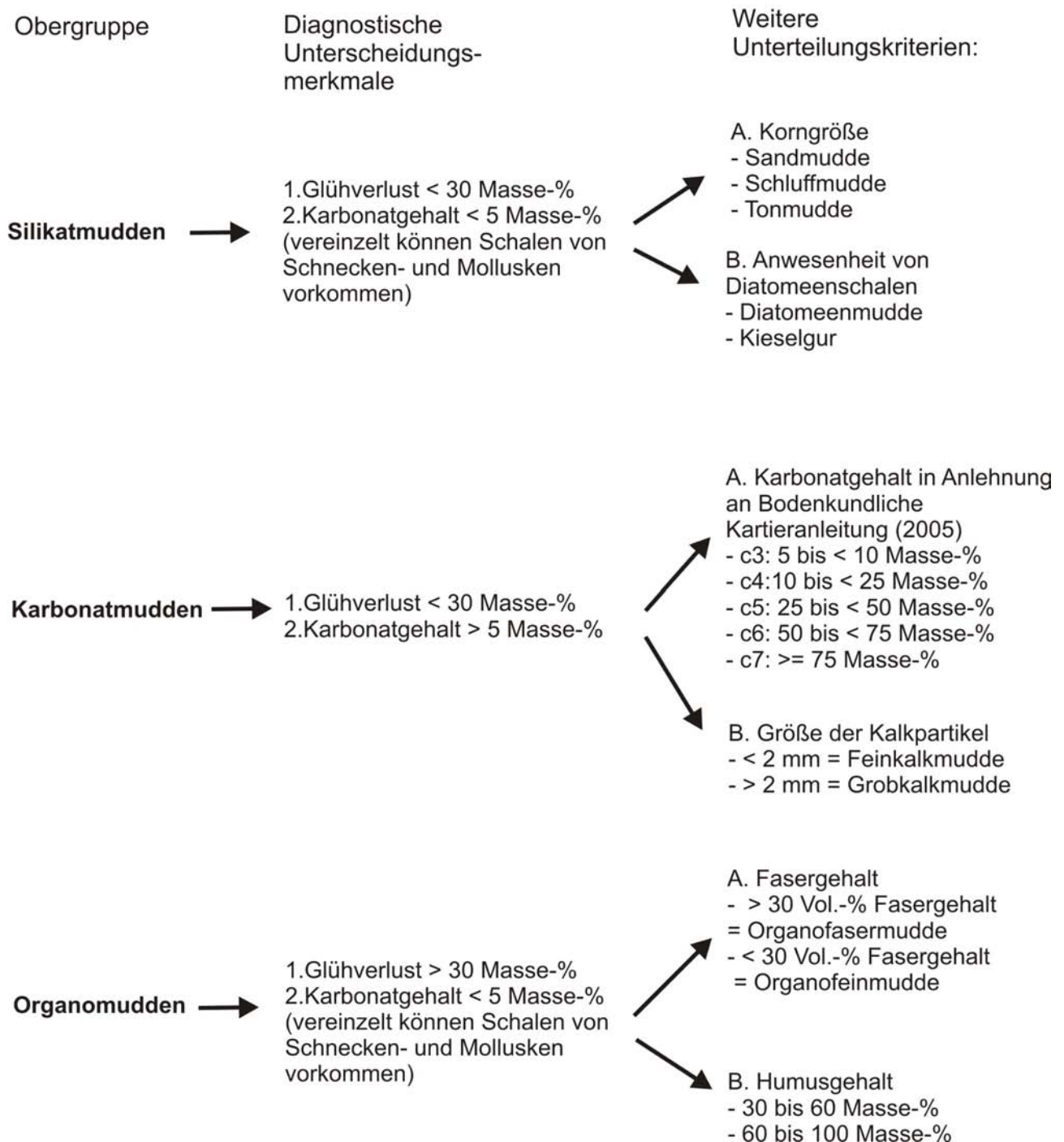


Abbildung 55: Vorschlag zur Gliederung der Muddesubstrate

Silikatmudden

Die diagnostischen Merkmale für die Kennzeichnung der Silikatmudden sind:

1. Glühverlust < 30 Masse-%
2. Karbonatgehalt < 5 Masse-% (vereinzelt können Schalen von Schnecken- und Mollusken vorkommen)

Die weitere Unterteilung von Silikatmudden erfolgt wie bisher nach den Hauptkorngrößenklassen gemäß Bodenkundlicher Kartieranleitung (2005). Da beim wassergebundenen Transport feste Partikel in Abhängigkeit von der Fließ- bzw. Strömungsgeschwindigkeit gemäß ihrer spezifischen Dichte bzw. Partikelgröße zeitlich und örtlich differenziert sedimentieren, weisen limnische und fluviatile Sedimente meist einen geringen Ungleichförmigkeitsgrad auf, sie sind also gut nach ihrer Korngröße sortiert. Nach den Hauptkorngrößenklassen werden demnach unterschieden: Sandmudde, Schluffmudde und Tonmudde.

Die Diatomeenmudde stellt hierbei eine Ausnahme dar, da sie statt anhand der Korngröße, anhand der biogenen Zusammensetzung, charakterisiert ist. Da sie die o.g. diagnostischen Kriterien für Silikatmudden erfüllt und bezüglich ihrer Eigenschaften den Silikatmudden ähnelt, wird sie dieser Gruppe zugeordnet. Allerdings ist zu beachten, dass auch diatomeenreiche Detritusmudden vorkommen und diese dann der Obergruppe der Organomudden zugeordnet werden. Charakteristisches Merkmale der Diatomeenmudde sind:

- Sie trocknen an der Luft sehr schnell und hellen dabei auf.
- Sie haben im lufttrockenen Zustand ein sehr geringes Gewicht.
- Diatomeen lassen sich schon mit einem einfachen Schülermikroskop identifizieren.

Eine weitere Möglichkeit Untergruppen zu unterscheiden, stellt das Atterberg-System dar, was auch schon für Mudden und organische Böden angewendet wurde (Schmidt, 1988; Landva et al., 1983). Dabei stellt der Wassergehalt an der Fließgrenze, Ausrollgrenze und Plastizitätsgrenze das entscheidende Kriterium dar.

Karbonatmudden

Die diagnostischen Merkmale für die Kennzeichnung der Karbonatmudden sind:

1. Glühverlust < 30 Masse-%
2. Karbonatgehalt > 5 Masse-%

Der Nachweis von Karbonaten erfolgt durch kalte Salzsäure für Kalziumkarbonat und durch warme Salzsäure für Siderit.

Die Größe der Kalkpartikel hat maßgeblichen Einfluss auf die physikalischen Kennwerte der Substrate und Böden. Für die Kennzeichnung nach der Größe der Partikel wird die Unterteilung in Grobkalkmudde (Fkg) und Feinkalkmudde (Fkf) mit einem Grenzwert von 2 mm für 50 Vol.-% der Kalkpartikel vorgeschlagen. Damit ist es möglich Kalkmudden, die vornehmlich aus Molluskenresten oder Characeenröhrchen bestehen, von denen aus präzipitativ ausgefallten Kalken zu unterscheiden.

Da sich der Kalziumkarbonatgehalt auf die Eigenschaften der Mudden auswirkt, ist es zweckmäßig außerdem Untergruppen der Karbonatmudden nach den Kalkgehalten auszuweisen. Für die Kennzeichnung des Karbonatgehaltes bietet sich die in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) verwendete Einteilung an. Eine Ausnahme wird dabei vorgeschlagen: der Karbonatgehalt der Gruppe c3 sollte bei den Kalkmudden 5 bis < 10 Masse-% enthalten, statt 2 bis < 10 Masse-%. Demnach würden also fünf Gruppen entstehen: c3 (5 bis < 10 Masse-%), c4 (10 bis < 25 Masse-%), c5 (25 bis < 50 Masse-%), c6 (50 bis < 75 Masse-%) und c7 (\geq 75 Masse-%).

Eine Sonderform der Karbonatmudden sind Gips enthaltende ton- und schluffreiche Kalkmudden, wie sie im Thüringer Becken gefunden wurden. Gips (Kalziumsulfat) kommt dabei als Porenfüllung oder in Form von Marienglaskristallen vor und kann entweder morphologisch oder analytisch anhand der Reaktion mit

Bariumchlorid zu Bariumsulfat (BaSO_4) identifiziert werden. In Abhängigkeit von der Matrix werden Gips enthaltende Mudden als Sulfatkalkmudden bezeichnet.

Zusätzlich wird mit Tabelle 50 eine Einteilung zur Verfügung gestellt, in denen die einzelnen Muddearten morphologisch beschrieben sind und die kontinuierlich erweitert werden kann. Die Muddearten in dieser Tabelle werden schon seit langem für moorkundliche Aufnahmen verwendet (Grosse-Brauckmann, 1961; Succow, 1988; Succow et al., 2001) und wurden durch eigene Beobachtungen und Erfahrungen bestätigt. Bei Bedarf, z.B. bei speziellen moor- und landschaftsökologischen Arbeiten, sollte diese für eine zusätzliche Kennzeichnung verwendet werden, auch wenn ihre Verwendung in der Profilbeschreibung nicht obligatorisch sein sollte.

Tabelle 50: Kalkmuddearten anhand morphologischer und genetischer Kriterien zusammengestellt nach Grosse-Brauckmann, 1961; Succow, 1988; Succow et al., 2001

Name	Beschreibung
Feinkalkmudde	homogene Kalkmudde, weiß bis grau, keine Partikel erkennbar
Molluskenschill (Schalenmudde, Schneckenmudde)	Sediment fast nur aus Schnecken- und Muschelresten bestehend
Schill-Kalkmudde	Kalkmudde mit Schnecken- und Muschelresten
Characeenkalk- mudde	aus Characeenröhrchen bestehend, im trockenen Zustand ähnlich wie Feinsand
Leberkalkmudde	gallertartige Kalkmudde
Eisenkalkmudde	rötlich oder gelblich gefärbte Kalkmudde (Hinweis auf O_2 -reichen Grundwasserzustrom)
Seekreide	hoher Kalkgehalt, > 80 Masse-%, hellgrau bis weiß

Organomudden

Die diagnostischen Merkmale der Organomudden sind:

1. Glühverlust > 30 Masse-%
2. Karbonatgehalt < 5 Masse-% (vereinzelt können Schalen von Schnecken- und Mollusken vorkommen)

Beim Vergleich zwischen den Eigenschaften von Torf und Mudde fällt auf, dass zwar ähnliche Gesamtporenvolumina und Glühverluste auftreten, Torf und Mudde sich jedoch hinsichtlich der Porenverteilung unterscheiden. Die Hauptursache dafür ist im Fasergehalt zu suchen, wobei der Anteil der Grobporen mit der Größe der Pflanzenreste zunimmt (vgl. auch Landva et al., 1983). Der Fasergehalt ist ein visuell erfassbares Merkmal, das auch im Gelände beschrieben werden kann. Deshalb wird hier eine Aufteilung in zwei Gruppen nach der Größe der enthaltenen Pflanzenfasern in **Organofeinemudde** und **Organofasermudde** (in Anlehnung an die englischen Begriffe *fibric* und *sapric*) und als diagnostisches Kriterium ein Grenzwert von 30 Vol.-% vorgeschlagen.

Die vorliegenden Untersuchungen der Organomudden ergaben zwei Gruppen, die sich durch unterschiedliche Humusgehalte auszeichneten (vgl. Kapitel 4.2): eine Gruppe mit Humusgehalten größer als 60 Masse-% und eine Gruppe mit geringeren Humusgehalten von 30 bis 60 Masse-%. Bei den ersteren handelte es sich meist um nicht pedogen veränderte Substrate, während die Organomudden mit geringerem Glühverlust meist pedogen verändert waren und der geringere Anteil an organischer Substanz auf an- und aeroben Abbau zurückzuführen war. Da sich der Anteil an organischer Substanz sowohl auf die chemischen als auch auf die physikalischen Eigenschaften auswirkt, wird vorgeschlagen zwei Gruppen zu bilden, um die, oben schon ausgewiesenen, Organofaser- und -feinemudden detaillierter beschreiben zu können. Der Anteil an organischer Substanz bzw. der Anteil an mineralischer Substanz kann mit Hilfe einer Lupe eingeschätzt oder laborativ, über den einfach zu bestimmenden Glühverlust bei 550 °C im Muffelofen, bestimmt werden.

Damit ergeben sich innerhalb der Hauptgruppe der Organomudden vier Varianten, wobei folgende Symbologie vorgeschlagen wird (siehe Tabelle 51):

Tabelle 51: Substratklassifikation der Organomudden

Name	Kurzzeichen	Anteil an organischer Substanz in Masse-%
Organofeinemudde	Fhs1	30-60
Organofeinemudde	Fhs2	> 60
Organofasermudde	Fhf1	30-60
Organofasermudde	Fhf2	> 60

Sapropel ist in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) als Bodentyp in der Klasse der Subhydrischen Böden aufgeführt. Sapropel wird in der deutschen Literatur häufig synonym mit Faulschlamm verwendet, während er in der russischen Literatur für alle Seesedimente mit einem großen Anteil an organischer Substanz verwendet wird. Zur Kennzeichnung von Sedimenten hoch- bzw. polytropher Seen ist die Verwendung des Begriffes Sapropel, verknüpft mit diagnostischen Kriterien, sinnvoll.

Erfahrungen aus eigenen moorkundlichen Untersuchungen haben gezeigt, dass detaillierte morphologische Substratbeschreibungen eine Grundlage für die synoptische Darstellung moorökologischer Zusammenhänge, wie z.B. der Entstehungsgeschichte und des hydrologisch-genetischen Moortyps sind. Dafür haben sich die bisher existierenden Begriffe bewährt, wobei während der Geländearbeiten weitere, so noch nicht beschriebene Phänomene, festgestellt wurden. In Tabelle 52 sind die aus eigenen Beobachtungen sowie der Literatur zusammengetragenen Muddearten aufgeführt.

Tabelle 52: Organomuddearten anhand morphologischer und genetischer Kriterien zusammengestellt aus eigenen Beobachtungen* und Literatur

Name	Beschreibung
Lebermudde	Sediment homogen, von elastischer (leberartiger), gallertartiger Konsistenz, muschelartig brechend, Farbe variiert von grün über gelb- und rötlich braun und rotbraun
Sinktorf	umgelagerte Torfreife (meist Braunmoos- oder Torfmoostorf) eingebettet in eine Matrix aus Mudde, hellbraun bis rötlichbraun
Feindetritusmudde	entsteht im tieferen, ruhigen Wasser von Seen mit viel Plankton, Farbe meist grünlich oder braun, gering elastisch, strukturlos
Grobdetritusmudde	entsteht in der Uferzone und besteht vorwiegend aus Resten höherer Wasserpflanzen
(See)Dy (Overbeck, 1975)	Sediment aus ausgeflockten Huminstoffen, meist braun bis dunkelbraun
Eisendy* (Edom und Chmielewski, 2003)	Sediment aus gelartigen Eisenverbindungen (gefunden im Elbsandsteingebirge)
Schill-Organomudde*	Detritusmudde mit wenigen bis zahlreichen Schnecken- und Muschelresten
Schwarze Detritusmudde* (Sapropel)	meist Feindetritusmudde ohne Pflanzenreste, starker H ₂ S-Geruch, unter anoxischen Bedingungen entstanden
Schwemmmudde*	Mudde aus umgelagerten (angeschwemmten) Pflanzenresten, grob, meist kein Zusammenhalt zwischen den Bestandteilen
Pollengyttja (Overbeck, 1975)	zusammengeschwemmte und sedimentierte Pollenmassen (hauptsächlich Erle), bilden bei starker Anreicherung so genannten Fimmenit (nach J. Früh, 1885, zitiert in Overbeck, 1975), dieser brennt mit leuchtender Flamme
Schlenkenty (Overbeck, 1975)	Ablagerung in Schlenken und Hochmoorkolken, aus Humusstoffen und aufbereitetem Sphagnummaterial
Diatomeen-Organomudde (Maczey, 2002)	Feindetritusmudde mit einem großen Anteil an Diatomeenschalen, meist olivgrün

8.1.2 Abgrenzung gegenüber genetisch verwandten Substraten bzw. Böden

8.1.2.1 Torf

Torf und Mude sind genetisch unterschiedliche Akkumulationen, die sich auch morphologisch unterscheiden. Torf besteht aus mehr oder weniger stark zersetzten Pflanzenfasern, die in Schichten am Ort ihrer Entstehung ohne weitere Umlagerung zur Ablagerung gelangen. Mude dagegen besteht aus verlagerten und abgebauten organischen und mineralischen Partikeln und weist eine homogene Struktur auf. Während des Verlandungsprozesses von Gewässern kann es allerdings zu Übergangsbildungen kommen, da sich die Lebensräume von torf- und muddebildenden Organismen bei einer Wassertiefe ab ca. 2 m überlagern.

Bei gleichem Anteil an organischer Substanz weisen Torfe und Mudden ähnlich hohe Gesamtporenvolumina auf, wodurch sie sich wiederum von allen anderen Mineralböden unterscheiden. Entscheidender Unterschied zwischen beiden ist aber die Porenverteilung und damit die physikalischen Kennwerte nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität, pflanzenverfügbares Wasser und Luftvolumen. Torfe weisen meist große Grobporenvolumina auf und entsprechend geringe Mittel- und Feinporenvolumina. Mudden dagegen weisen sehr große Volumina im Mittel- und nach Entwässerung im Feinporenbereich auf (siehe Kapitel 6). Damit ist der Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers in Mudden geringer als das in Torfen, ebenso wie das Luftvolumen (ebenda).

Auch hinsichtlich der chemischen Eigenschaften bestehen Unterschiede zwischen Torfen und Mudden, so ist die Kationenaustauschkapazität der Mudden deutlich größer als die der Torfe. Insbesondere Detritusmudden binden mehr Schwermetalle als Torfe (siehe Kapitel 5).

8.1.2.2 Quellsedimente

Quellsedimente entstehen beim Übertritt von Grundwasser an die Erdoberfläche, während beim Austritt von Quellen in Gewässer Mudden entstehen. Im Jungmoränenland ist das Grundwasser oft mit gelöstem Kalziumkarbonat angereichert, welches infolge einer Veränderung des chemischen Gleichgewichts beim Austritt aus dem Grundwasserleiter ausfällt und zu kalkhaltigen Ablagerungen führt. Die Konkretionen aus Kalziumkarbonat weisen bezüglich ihrer Größe eine große Mannigfaltigkeit auf und können von mikroskopisch kleinen Kristallen bis hin zu zentimetergroßen Körnern reichen.

Syngenetisch mit der Akkumulation von Kalziumkarbonat findet meist eine Anreicherung von organischer Substanz statt, wobei sich so genannte Quellmoore bilden (vgl. Stegmann, 2005). Das hydrologische Regime von Quellmooren kann Schwankungen unterliegen, die aus der Gebietshydrologie resultieren. Die Konstanz der Quellschüttung hängt u.a. von der Ausprägung und Mächtigkeit der Grundwasserleiter, der Anwesenheit und räumlichen Verteilung von so genannten hydraulischen Fenstern, die eine hydraulische Verbindung zwischen verschiedenen Grundwasserleitern herstellen und einen vertikalen Wasseraufstieg als Folge des Druckausgleichs von gespanntem Grundwasser ermöglichen, ab. Außerdem wirken sich morphologische Gegebenheiten, wie z.B. Hangneigung, Erosionsbahnen und moorspezifische Prozesse, wie z.B. die zeitlich und räumlich variable Verteilung von Bulten und Schlenken auf die Ausprägung des Quellregimes und des Quellmoores aus (ebenda).

Resultat der komplexen Vorgänge ist eine Vielgestaltigkeit der Quellmoorakkumulationen, die eine morphologische Ähnlichkeit sowohl mit Torfen als auch mit Kalkmudden aufweisen.

Um Verwechselungen auszuschließen, sollten neben der Substratansprache die Geländegegebenheiten beachtet werden.

8.1.2.3 Wiesenkalk

Wiesenkalk ist ein Begriff, der häufig für mit Kalziumkarbonat durchsetzten Torf verwendet wird (Jäger, 1966; Merkt et al., 1971; Göttlich, 1990). Synonyme sind Alm und Wiesenmergel. Wiesenkalk entsteht entweder syngenetisch mit der Torfbildung oder infolge der Durchströmung von kalkhaltigem Wasser durch ältere Moorablagerungen, wodurch es zu einer primären oder sekundären Anreicherung von Kalziumkarbonat kommt, wobei die Kalkgehalte sehr stark variieren. An der Kapillarsaumoberfläche, wo sich das Grundwasser entspannt und verdunstet, kommt es, wenn das Grundwasser kalkhaltig ist, zur Ausfällung von Kalziumkarbonat. Kalkanreicherungshorizonte befinden sich damit oft im Grenzbereich ehemaliger und noch

bestehender Grundwasserhorizonte, wozu auch die so genannten Wiesenkalke gehören.

Die o.g. Begriffe sind eine Synopse aus Entstehungsort und Zusammensetzung. So unterscheiden die Begriffe Wiesenkalk und Wiesenmergel, mit wenig klastischen Bestandteilen angereicherte von mit klastischen Bestandteilen angereicherten Substraten. In älterer Literatur (Passarge, 1901) wird der Begriff Wiesenkalk für Kalkmudden, die sich im Liegenden von Torfen befinden, verwendet. Wiesenkalke sind also hinsichtlich ihrer Entstehung keine Mudden, sondern kalkhaltige Torfe. Im weitesten Sinne sind Wiesenkalke den Quellakkumulationen zuzuordnen. Von Stegmann (2005) liegen erste Vorschläge zur Systematisierung und Klassifikation der Quellablagerungen vor.

8.1.3 Bodenklassifikation

8.1.3.1 Horizontausprägungen

Die Horizontbildung in Mudden ist vor allem durch zwei Faktoren, die beide mit dem hydrologischen Regime zusammenhängen, geprägt:

- entwässerungsbedingte Schrumpfung
- durch wechselnde Grundwasserstände sowie durch Stau- und Haftwasser hervorgerufene Oxidation/Reduktion.

Die Auswirkung beider Prozesse auf Morphologie und Bodeneigenschaften wird determiniert von der Zusammensetzung des Substrates, im Wesentlichen vom Anteil an organischer Substanz. Substrate mit einem sehr großen Anteil an organischer Substanz (Organomudden) schrumpfen stärker als Mudden mit geringem Anteil an organischer Substanz (Kalk- und Silikatmudden).

Alle Muddearten weisen eine gegenüber den Mineralböden spezifische Horizontentwicklung auf, die primär durch Schrumpfungsprozesse und in eingeschränktem Maße auch Quellungsprozesse hervorgerufen wird. Folge der Schrumpfung ist die Ausbildung von Gefügekörpern, deren Größe und Form substratspezifisch ist und in erster Linie vom Gehalt an organischer Substanz bestimmt wird. Für Organomudden ist die Gefügeentwicklung so bedeutsam, dass sie alle anderen Bodenmerkmale, wie z.B. die hydromorphen Merkmale bei weitem übersteigt. Deshalb wird im Folgenden die Gefügeform als Horizontdifferenzmerkmal bei der Ausweisung der Horizonte verwendet. Auch bei den Karbonat- und Silikatmudden findet eine Gefügeentwicklung statt. Deren Charakteristikum ist die Entstehung von großen Gefügekörpern, innerhalb derer Kohärentgefüge vorherrscht.

Auch polnische Arbeiten belegen für Muddeböden eine Bodenentwicklung mit der Herausbildung unterschiedlicher Schrumpfungshorizonte, tiefen Schwundrissen und der Bildung eines polyederalen Mikroreliefs (Uggla, 1964; Uggla et al., 1972). Darin wird die Ausprägung von Bodenhorizonten in entwässerten Detritusmudden in Polen beschrieben. Dabei wurden ähnliche Merkmale aufgeführt: tiefe Klüfte, die mit Oberbodenmaterial verfüllt sind, horizontal angeordnete Lamellen, die im oberen Bereich sehr locker gepackt sind, eine zum Teil chaotische Struktur aufweisen und durch Wurzeln zusammengehalten werden sowie ein krümeliger Oberboden, der amorphe humifizierte organische Substanz enthält.

Gegenüber den Horizonten der Niedermoorböden weisen die Horizonte in den Muddeböden deutliche Unterschiede auf, weswegen sowohl die Horizontbezeichnungen und -beschreibungen als auch die aus der vertikalen Horizontabfolge abgeleiteten Bodentypen nicht auf Muddeböden übertragbar sind. Ähnlichkeit zu den Torfböden besteht darin, dass sich pedogenetische Prozesse morphologisch sichtbar vor allem anhand von Gefügemerkmalen ausprägen, während andere pedogene Merkmale, wie z.B. farbliche Unterschiede sowie durch vertikale Translokation hervorgerufene Bodenartenunterschiede demgegenüber zurücktreten.

Wegen der Einzigartigkeit der Muddehorizonte in Böden aus Mudden sollte das Symbol „F“ in der Horizontbezeichnung enthalten sein.

Organomudde

Wie in Kapitel 4 dargestellt, sind für Böden aus Organomudden fünf Horizonte charakteristisch, die anhand von Gefügemerkmalen identifiziert werden:

1. **Oberbodenhorizont:** Der Oberbodenhorizont wird aus vererdeter Mudde gebildet. Diese kann, muss aber nicht mit stark zersetzten Torffasern durchsetzt sein. Der Horizont weist ein Krümelgefüge auf und ist meist von tiefschwarzer bis schwarzbrauner Farbe.

Geringmächtige Torfauflagen sind nach Wasserabsenkung infolge weiter anhaltender Grundnässe entstanden. Von dem darunter liegenden Muddehorizont sind Aggregate entweder durch Pflügen oder durch Labilisierung der Grenzschicht infolge von Schrumpfungs- und Quellungsprozessen, Wurzelwachstum der Pflanzen, Bioturbation durch Bodenorganismen abgelöst, die bei weiterer Bodenbearbeitung in den Torf eingearbeitet werden und gemeinsam mit diesem ein Mischsubstrat ergeben. Die Aggregatgrößen sind ungleichförmig und erreichen eine Größe bis zu 10 mm.

2. **Schrumpfungs- und Abbauhorizont aus Mudde:** Dieser Horizont besteht aus nur schwach zusammenhaltenden kleinen Aggregaten. Er weist ein lamellenartiges bis scherbiges horizontales Gefüge auf, das hier als Plättchengefüge bezeichnet wird. Dieser Horizont tritt in einer Tiefe von ca. 10 cm bis in ca. 50 cm auf. Die Gefügeelemente besitzen 3 cm horizontale und 1-3 mm vertikale Ausdehnung. Je trockener der Boden und je weiter die Bodenentwicklung voran geschritten ist, desto kleiner und dünner sind die einzelnen Platten.
3. **Schrumpfungshorizont:** Dieser Horizont besteht aus verdichteten, größeren Aggregaten. Er weist ein Plattengefüge mit Aggregatgrößen von max. 7 cm horizontaler und 5-10 mm vertikaler Ausdehnung auf. Die Platten lösen sich erst durch größere Kraftaufwendung voneinander.
4. **Konsolidierungshorizont:** Der Konsolidierungshorizont weist ein Polyedergefüge auf. Innerhalb der Polyeder tritt das für pedogenetisch unveränderte Mudden charakteristische Kohärentgefüge auf, das sich gegenüber dem Ausgangsmaterial durch eine größere Dichte und damit Scherfestigkeit auszeichnet. Die Farbe ist der von unveränderter Mudde ähnlich. Die Sedimente weisen meist eine feinstratigraphische lithologische Wechsellagerung auf, deren Schichten zwischen 1 und 3 mm mächtig sind und die erst bei Austrocknen des Bodens sichtbar werden. Innerhalb der Polyeder herrschen reduktive Verhältnisse, während an den Grenzflächen Wasser- und Luft transportiert wird und zeitlich begrenzt oxidative Verhältnisse auftreten. Morphologisch wird dies anhand von farblich auffälligen Eisen- und Manganoxiden, die als Hof um Bioporen sowie als Tapeten an Kluffflächen vorkommen, sichtbar.
5. **Gallerthorizont:** Dieser Horizont weist keine pedogenetisch bedingten morphologischen Veränderungen auf. Es handelt sich also um das Ausgangsmaterial, das sowohl seine ursprüngliche Farbe als auch seine ursprüngliche Konsistenz besitzt. Da für alle Mudden eine mehr oder weniger stark gallertartige Konsistenz charakteristisch ist, wird als Horizontbezeichnung Gallerthorizont vorgeschlagen.

Karbonatmudden

Karbonatmudden können mit einer geringmächtigen Torfschicht bedeckt sein, meist liegen sie aber direkt an der Oberfläche. Wenn eine Torfbedeckung vorhanden ist, ist diese immer stark zersetzt und weist durch Turbation eingearbeitete Aggregate aus Karbonatmudde auf. Durch die Entwässerung kommt es zu Schrumpfung und Sackung, verbunden mit spaltenförmigen Einbrüchen mit scharfkantigen Grenzen. Die in Kapitel 6 beschriebenen Prozesse des Wasserverlustes in den Karbonatmudden führen zur Ausbildung eines Sekundärgefüges, das aus Polyedern von 20-30 cm Durchmesser gebildet wird. In Abhängigkeit von der Art der Kalke sind die Polyeder mehr oder weniger stabil. Wenn die Polyeder vorwiegend aus Schnecken- und Muschelresten bestehen, fallen sie schon bei geringem Druck auseinander. Dagegen weisen Karbonatmudden, die aus präzipitativ gefällten feinen Kalkpartikeln bestehen, eine größere Festigkeit auf und sind häufig gallertartig.

Die Horizonte sind außer durch das Gefüge durch Oxidations- und Reduktionsmerkmale gekennzeichnet, die sowohl auf den Grenzflächen der Polyeder auftreten als auch als Flecken im Sediment verteilt sind. Je „gröber“ das Sediment ist, desto häufiger treten Oxidationsflecken innerhalb von Polyedern auf.

Für Böden aus Silikatmudden unter Einschluss der Diatomeenmudden im Jung- und Altmoränenland sind die Hydromorphie Merkmale prägend.

Anhand der Gefügemerkmale treten folgende Horizonte auf:

1. **Oberbodenhorizont:** Der Oberbodenhorizont wird aus einem Mischsubstrat aus Mudde und Torf gebildet. Charakteristisch sind klumpige Muddeaggregate, die bis zu 5 cm groß sind. Diese sind in eine Matrix von stark zersetztem Torf eingebettet.
2. **Schrumpfungshorizont:** Dieser Horizont besteht aus unterschiedlich großen Aggregaten. Er weist ein unregelmäßiges Polyedergefüge auf. Charakteristisch sind intensive Eisenausfällungen, die als Tapeten auf den Polyedern auftreten und Makroreste, wie z.B. Muscheln und faserreiches Material, vollständig ausfüllen. Innerhalb der Polyeder kommen überwiegend reduktive Verhältnisse vor, was sich an nassgebleichten hellen Flecken zeigt. Das Flächenverhältnis zwischen Reduktions- und Oxidationsmerkmalen wird von der Größe der Primärteilchen bestimmt und muss vor Ort abgeschätzt werden.
3. **Konsolidierungshorizont:** Der Konsolidierungshorizont weist ebenfalls ein Polyedergefüge auf. Die Polyeder sind größer als im darüberliegenden Horizont. Innerhalb der Polyeder treten das für pedogenetisch unveränderte Mudden charakteristische Kohärentgefüge und reduktive Verhältnisse auf.
4. **Gallerthorizont:** Dieser Horizont weist keine pedogenetisch bedingten morphologischen Veränderungen auf. Es handelt sich also um das Ausgangsmaterial, das sowohl seine ursprüngliche Farbe als auch seine ursprüngliche Konsistenz besitzt. Auch hier wird, wie für den unveränderten Horizont der Organomuddeböden, der Begriff Gallerthorizont vorgeschlagen.

Im Fazit lässt sich feststellen, dass Böden aus Organomudden sich deutlich von allen anderen Böden unterscheiden, weswegen neue Horizontmerkmale sowie die Ausweisung eines spezifischen Bodentyps notwendig ist.

Die Karbonat- und Silikatmudden weisen ebenfalls eine charakteristische Gefügeausbildung auf, die sie von den terrestrischen und auch semiterrestrischen Böden unterscheidet. Da jedoch ebenfalls hydromorphe Horizontmerkmale prägend sind, erscheint eine Kombination aus Gefüge- und Hydromorphiemarkmalen für die Ausweisung der Horizonte nötig. Dies könnte über ein nachgestelltes Symbol, mit der die pedogenen Merkmale gekennzeichnet werden, realisiert werden.

8.1.3.2 Einordnung in die Bodensystematik

Im Folgenden werden Vorschläge für eine Klassifizierung und bodensystematische Einordnung von Muddeböden unterbreitet.

Eine grundsätzliche Frage ist, ob die Böden aus Mudde Merkmale aufweisen, durch die sie sich von allen anderen Böden unterscheiden, so dass eigene Bodentypen gerechtfertigt sind. Wie im Kapitel 6 ausgeführt, ist das große Porenvolumen in Kombination mit einem großen Anteil an Mittel- und Feinporen ein charakteristisches Merkmal aller Mudden. Diese Merkmalskombination trifft für alle untersuchten Mudden zu. Selbst die Sandmudden wiesen gegenüber terrestrischen sandigen Böden deutlich höhere Gesamtporenvolumina auf. Die Prozesse der initialen Bodenbildung sind ebenfalls bei allen Muddearten gleich, nämlich der durch Seeablassung und Sedimententwässerung hervorgerufene Prozess der Konsolidierung (Sackung), allerdings verlaufen die Prozesse mit von Muddeart zu Muddeart unterschiedlichen Intensitäten. Alle untersuchten Böden sind bis heute durch Grundwasserdynamik geprägt: Ganzjähriger Grundwassereinfluss mit hohen Wasserständen im Winterhalbjahr und Frühjahr und mit einer Abnahme der Wasserstände im Sommerhalbjahr. Dabei kommt es zu einem Wechsel zwischen Reduktion und Oxidation und den dadurch hervorgerufenen Merkmalen.

Die zweite Kernfrage ist: Sollen die Muddeböden, die eine genetische Einheit darstellen, in einem gemeinsamen hierarchischen Prinzip gegliedert (Variante 1) oder besser unter weitestgehender Verwendung des mit der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) definierten Ordnungsprinzips den jeweils passenden Kategorien zugeordnet werden (Variante 2)?

Aus landschaftsökologischer Sicht ist die Variante 1 zu bevorzugen, da damit Chronosequenzen und Übergänge zwischen Muddearten besser gekennzeichnet und innerhalb einer systematischen Linie sichtbar gemacht würden. Bei der Bodenkundlichen Kartieranleitung handelt es sich um ein Arbeitsmittel für eine Vielzahl von Fachdisziplinen und Anwendungsfällen. Daher sprechen für die Variante 2 folgende Argumente:

Die Einordnung in die bestehende Systematik ist mit geringeren Veränderungen bestehender Klassifikationskriterien (z.B. 30 Masse-% Humusgehalt als Grenze zwischen Moor und mineralischen Böden) verbunden. Außerdem führt die Anwendung der Grundprinzipien der Kartieranleitung zu einer einfacheren Handhabung, da keine weiteren „Sonderfälle“ geschaffen werden.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit der Zuordnung von Muddeböden zur bestehenden deutschen Bodensystematik besteht in der Unterscheidung auf der Abteilungsebene nach Humusgehalt und Mächtigkeit der Torfschicht in Moore und alle anderen. Mudden weisen eine Spannbreite von 5-95 Vol.-% Humusgehalt auf und kommen in ganz unterschiedlichen Mächtigkeiten vor. Oberflächennahe Mudden mit mehr als 30 Vol.-% Humus und mehr als 30 cm Mächtigkeit wären somit der Abteilung Moore zuzuordnen, alle anderen den jeweiligen Abteilungen, zumeist handelt es sich um semiterrestrische Böden. Aber auch organische Mudden lassen sich nicht ohne weiteres unter die Kategorie „Niedermoor“ einordnen, da sie von den Torfböden deutlich abweichende Gefügemerkmale und -eigenschaften besitzen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Einordnung, die jeweils mit einer mehr oder weniger starken Erweiterung der Bodensystematik einhergehen:

- A) Einordnung aller Muddeböden in die Abteilungen *Semiterrestrische Böden*, *Terrestrische Böden* oder *Moore*: Dies entspricht Variante 2. Zum einen besteht die Möglichkeit, dass Muddeböden ohne Bildung einer neuer bodensystematischen Einheit in die Klasse *Gleye* innerhalb der Abteilung *Semiterrestrische Böden* und in die Klassen *Pelosole*, *Stauwasserböden* und *Ah/C-Böden* innerhalb der Abteilung *Terrestrische Böden* eingeordnet werden. Die Böden aus Organomudden würden 1. der Abteilung Moore zugeordnet werden, wobei hier eine Klasse hinzugefügt werden müsste oder die bestehende Klasse „Erd- und Mulmniedermoor“ um Muddeböden erweitert werden müsste oder 2. ebenfalls den semiterrestrischen Böden, wobei dann die Grenzziehung der 30 Masse-% organischer Substanz entfallen müsste. Die Kennzeichnung der für Mudde spezifischen Eigenschaften müsste dann über die Angabe von Substratart bzw. -typ erfolgen. Die besondere Stellung der Muddeböden bleibt bei dieser Einordnung vollkommen unberücksichtigt.
- B) Einordnung aller Muddeböden in die Abteilung der *Moore* und dort Definition als Klasse der *Muddemoore*: Dies entspricht Variante 1. Dabei wäre eine Erweiterung der möglichen Humusgehalte der Abteilung notwendig. Eine Umbenennung der Abteilung in Moore und Muddemoore ist möglich, aber nicht notwendig. Eine Unterteilung in die Typen *Karbonatmuddemoor*, *Silikatmuddemoor* und *Organomuddemoor* ermöglicht eine Kennzeichnung der vorherrschenden Muddeartgruppe. Die genaue Kennzeichnung der Muddearten muss dann über die Angabe der Substrattypen erfolgen. Für die Ausweisung von Subtypen bietet sich analog zu den *natürlichen und vererdeten Mooren* eine Aufteilung in *Norm-*, *Erd-* und *Mulm-...muddemoor*. Auf der Basis der oben beschriebenen Horizonte ließen sich Subtypen definieren, die unterschiedlichen Entwicklungsstufen entsprechen. Auf Varietätenebene können die Prozesse konkretisiert werden, die zur Muddemoorbildung geführt haben. Die Einordnung zu den Mooren ist auch aus landschaftsökologischer Sicht sinnvoll. Zudem ermöglicht die Nomenklatur eine eindeutige Abgrenzung zu dem Begriff *Gyttja*, der dann den Unterwasserböden vorbehalten bleibt.
- C) Einordnung in die Klasse *Subhydrische Böden*: Dies entspricht Variante 1. Unter Beibehaltung der bestehenden systematischen Einheiten (Abteilung *Semisubhydrische* und *Subhydrische Böden*, Klasse *Subhydrische Böden* mit der Erweiterung *und entwässerte subhydrische Böden*) können auf Typenebene *Subhydrische* und *entwässerte subhydrische Böden* gekennzeichnet werden und auf der Subtypenebene jeweils die Bodenentwicklungsstufen bzw. durch unterschiedliche trophische Milieus entstandenen *Protopedon*, *Gyttja*, *Sapropel* und *Dy* als eine Subtypenlinie und (*Norm-*) *Muddeboden*, *Erd-Muddeboden* und *Mulm-Muddeboden* als andere Subtypenlinie ausgewiesen werden. Die Kennzeichnung der Muddearten erfolgt über die Nennung des Substrattyps oder möglicherweise auf Varietätenebene. Nachteile sind darin zu sehen, dass entwässerte und in Nutzung stehende Muddeböden keine Unterwasserböden darstellen und dass auf Subtypenebene keine Kennzeichnung der Muddeartengruppe erfolgt. Der Vorteil liegt darin, dass die bestehende Bodensystematik unverändert bleibt und lediglich ergänzt wird.
- D) Einordnung in eine eigene Abteilung: Dies entspricht Variante 1. Eine Aufteilung der bestehenden Abteilung *Semisubhydrische* und *Subhydrische Böden* in zwei Abteilungen stellt eine weitere Möglichkeit dar. Innerhalb der Abteilung *Subhydrische Böden* kann analog zu den Mooren eine Klasse *natürliche und vererdete Mudden* mit den Typen *Organomudde*, *Karbonatmudde* und *Silikatmudde* gebildet werden. Auf Subtypenebene erfolgt die Kennzeichnung der Bodenentwicklungsstufen als (*Norm*)...*mudde*, *Erd...mudde* und *Mulm...mudde*. Muddearten müssen durch die Angabe von Substratart bzw. -typ gekennzeichnet werden. Damit wäre auf

Subtypenebene bereits eine gute Beschreibung der Böden erfolgt. Zugleich erfolgt auch hier die missverständliche Einordnung in Unterwasserböden.

- E) Im Fazit scheint die Variante 1 und hierbei die Zuordnung zur Abteilung „Moore“ der Praxis der bodenkundlichen Geländeaufnahme am stärksten entgegen zukommen. Bestehende Grenzwerte könnten übernommen werden. Allerdings müsste die Abteilung der Moore erweitert werden, da Muddeböden sich sowohl hinsichtlich ihrer Morphologie als auch bezüglich ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften eindeutig von Moorböden unterscheiden. Eine, gegenüber der bisher angewandten, deutlich verbesserte Substratklassifikation, wie sie unter 7.1 vorgestellt wurde, ist die Voraussetzung für die nachvollziehbare Kennzeichnung von Böden aus Mudden.

8.2 Hintergrundwerte

In genutzten Gebieten, wie es bei den meisten der hier untersuchten Flächen der Fall ist, können die Auswirkungen der anthropogenen Einflüsse die natürlichen Bodeneigenschaften überlagern. Dies hat z.B. die Hauptkomponentenanalyse ergeben, die zeigte, dass ubiquitäre diffuse Elemente einen den Oberboden prägenden Einfluss besitzen können (vgl. Kapitel 5.2, 5. Hauptkomponente). Der Boden speichert chemische Elemente und Verbindungen, wodurch Schadstoffe angereichert werden können, bis sie den Menschen gefährdende Konzentrationen erreichen, entweder mit einer toxischen Wirkung bei direkter Exposition als auch durch nachteilige Wirkungen für die Gesundheit durch die Aufnahme von belasteten Nahrungsmitteln. Insbesondere die Oberböden spielen für die Gefährdungsabschätzung eine wichtige Rolle, da sie zum einen der Bereich sind, mit denen der Mensch tagtäglich in Berührung kommt als auch die Schicht, aus der Pflanzen primär Stoffe aufnehmen.

Die geochemische Ausstattung des Bodens ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsmaterials (Substrat), aus pedogenetischen (Redoxvorgänge, Stoffab-, -um- und -aufbau, Stoffverlagerung usw.) und anthropogenen (Um- und Verlagerung, Ein- und Auftrag, Einleitungen usw.) Einflüssen, natürlichen und anthropogen verursachten atmosphärischen Einträgen.

Die Größe einer Gefährdung ist außer von der Elementkonzentration, abhängig von der Zusammensetzung des Bodens und den wirkenden Transport- und Verlagerungsprozessen. Wichtige Parameter zur Bewertung von Stoffspeicherpotenzialen sind u.a. Bodenart, Skelett- und Humusgehalt, Menge an Oxiden, Grundwasserbeeinflussung. Wechselwirkungen zwischen den Phasen (Bodenwasser, Bodenluft, feste Partikel) sind in hohem Maße von bodenphysikalischen Faktoren beeinflusst. Die organische Substanz und der pH-Wert sind Parameter, die die Sorption von Elementen stark beeinflussen. Humus fungiert als potenzieller Sorptionspartner, während der pH-Wert Einfluss auf die Löslichkeit von Elementen und damit auf deren Mobilität hat und außerdem der die variable Ladung und damit die Anzahl der Bindungsplätze beeinflussende Milieuparameter ist. Beide sind von Substrat und Boden maßgeblich beeinflusst, wobei die Kenntnis der Boden- und Substratverhältnisse Aussagen über die Stabilität von C_{org} -Gehalt und pH-Wert erlaubt.

Wegen der Determiniertheit von Elementkonzentrationen durch die Substratparameter wurde durch LABO (2003) das Konzept der Hintergrundwerte erarbeitet. Hintergrundwerte sind Vergleichswerte von Böden, die zur Abschätzung einer potenziellen Gefährdung dienen. Sie entsprechen dem „natürlichen“ Elementgehalt, zusammen mit dem anteilmäßig nicht mehr zu trennenden Gehalt, der diffus über die großräumige nasse und trockene Deposition eingetragen wird (siehe Kapitel 3).

Da Böden aus Mudden bisher kaum untersucht wurden bzw. wenn, dann unter einem jeweils spezifischen Gesichtspunkt, liegen bisher keine Hintergrundwerte für diese speziellen Böden vor. Die Lücke wird durch die vorliegende Arbeit für Organo-, Karbonat- und Diatomeenmudden geschlossen.

In Anhang 13 wird eine Tabelle zur Verfügung gestellt, die für die genannten drei Muddearten für 80 Elemente und chemische Verbindungen den Median der Werteverteilung und damit den Hintergrundwert enthält.

9 Zusammenfassung

Mudden, die Sedimente stehender und langsam fließender Gewässer, sind ein weit verbreiteter Bestandteil von Niederungen und Mooren. Infolge des Abbaus von geringmächtigen Torfen, die die Mudden überlagern sowie im Anschluss an die Ablassung von Seen unterliegen die Mudden einer Pedogenese unter atmosphärischen Bedingungen. Dies führt zur Ausbildung von Bodenhorizonten, die spezifisch für jede Muddeart sind. Die pedogenetischen Veränderungen gehen einher mit der Veränderung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Eigenschaften.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die wesentlichen Merkmale von Mudden und Muddeböden herauszuarbeiten. Dazu wurden auf 12 Untersuchungsflächen in den Bundesländern Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen sowie in der Region Wielkopolska in Polen insgesamt 60 Bodenprofile ergraben und beschrieben sowie pro Fläche zwei Profile vollständig für laborative Untersuchungen beprobt.

Am Beginn der Arbeit stand die Identifikation und Beschreibung der verschiedenen Muddearten sowie der für die verschiedenen Muddearten spezifischen Bodenhorizonte. Anhand von Laboranalysen wurden die chemischen und physikalischen Eigenschaften von Mudden als Ausgangssubstrat der Bodenbildung sowie deren horizontbezogene Eigenschaften, die sich infolge der Pedogenese entwickelt haben, ermittelt. Für Substrate und Böden wurden diagnostische Merkmale zu deren Unterscheidung herausgearbeitet. Darauf basierend wurde ein Vorschlag für eine gegenüber der Bodenkundlichen Kartieranleitung (2005) erweiterten Klassifikation der Substratarten, Bodenhorizonte und -typen zur Diskussion gestellt.

Darüber wurde während der Beschäftigung und beim Nachdenken über die Genese von Muddeböden und deren Wasserregime das bisher noch nicht beschriebene anthropogen induzierte Versumpfungsmoorstadium als Phase der Verlandungsmoorsukzession herausgearbeitet, erkannt und beschrieben.

Alle untersuchten Profile wiesen Merkmale einer Pedogenese auf. Diese bestanden vornehmlich in der Ausbildung eines Aggregatgefüges, während für nicht entwässerte Mudden ein Kohärentgefüge charakteristisch war. Als primäre Ursache der Gefügeentwicklung wurden Schrumpfungs- und Quellungsprozesse identifiziert, von untergeordneter Bedeutung waren Wurzelwachstum und die Aktivität von Bodenlebewesen.

Auf allen untersuchten Flächen traten tiefreichende Risse bzw. Klüfte auf. Diese entstanden durch das Zerreißen des Bodens infolge der Zunahme der Zugspannung nach der Entwässerung.

Die Risse waren meist mit lockerem Oberbodenmaterial gefüllt oder auch leer und fungierten als Hauptleitbahnen für Wasser und Luft. Bis zur unteren Grenze der Klüfte traten zusätzlich horizontspezifische Gefügeausprägungen auf, die sich je nach Muddeart unterschieden.

Die Spannweite des Gehaltes an organischer Substanz lag für alle untersuchten Proben zwischen 2 und 92 Masse-%. Proben mit einem Gehalt an organischer Substanz wurden einbezogen, wenn sie Mollusken- bzw. Diatomeenreste aufwiesen und damit limnischen Ursprungs waren.

Die Spanne der pH-Werte aller untersuchten Horizonte lag zwischen 3,8 und 7,8. Mit rund 60 % am Gesamtdatensatz war die überwiegende Anzahl schwach alkalisch, 35 % waren schwach sauer und nur 5 % der Mudden hatten pH-Werte unter 5 und waren damit mäßig bis stark sauer.

In einer statistischen Strukturanalyse wurden die Hauptelemente und ausgewählte Spurenelemente mit dem Ziel untersucht, charakteristische Merkmalskombinationen und Stoffgruppen zu identifizieren und anhand derer ein Klassifikationsschema zu erarbeiten. Dabei zeigte sich, dass die Hauptkomponentenanalyse verschiedene Zusammensetzungen und Eintragsmuster sichtbar machen kann. Die erste Hauptkomponente enthielt primär den lithogen gebundenen Elementanteil und repräsentierte damit den erosiv-partikelgebundenen Eintrag aus dem Einzugsgebiet. Die zweite Hauptkomponente spiegelte die redoxsensitive Entstehung von pedogenen Eisenoxiden und deren Rolle als Bindungspartner für Phosphor und Arsen wider. Auch die dritte Hauptkomponente machte einen pedogenen Anreicherungsprozess sichtbar, nämlich die Bindung von Kupfer an Manganoxide. Die vierte Hauptkomponente charakterisierte kalkhaltige und an organischem Kohlenstoff reiche Proben mit geringem silikatischen Anteil und repräsentierte damit wiederum ein geogenes Bildungsprinzip. Im Unterschied zu allen anderen Hauptkomponenten zeigte sich in der fünften Hauptkomponente ein anthropogen verursachtes Phänomen, nämlich die Anreicherung der Oberböden mit typischen Schwermetallen von KFZ- und industrietypischen Immissionen.

Alle untersuchten Mudden wiesen große bis sehr große Porenvolumina auf. Mit Abstand die größten

Gesamtporenvolumina besaßen die Detritusmudden mit bis zu 80 Vol.-%. Auch die Kalkmudden wiesen mit bis zu 74 Vol.-% große Porenvolumina auf. Bezüglich der Wassergehalte im gesättigten Zustand nehmen die Mudden folgende Reihenfolge ein: $F_{hg} > F_{mi} > F_{mk} > F_{kk} > F_{mu} > F_{ms}$. Neben der Textur trug die sedimentologisch angelegte lockere Lagerungsart nicht entwässerter Mudden zu den großen Porenvolumina bei. So wiesen auch Sand- und Schluffmudden mit einem geringen Anteil an organischer Substanz deutlich höhere Porenvolumina als terrestrische Böden mit vergleichbarer Textur auf.

Bisher existierten keine Hintergrundwerte für Muddesubstrate und Böden aus Mudde. Aus den gewonnenen Untersuchungsergebnissen konnten Hintergrundwerte für Böden aus Organo-, Karbonat- und Diatomeenmudden ermittelt werden.

10 Literatur

Bauriegel, A. (2005). Methoden zur Ableitung und Parametrisierung von flächenbezogenen Profil- und Horizontdaten. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt Universität zu Berlin. **Dissertation**.

Becker, B., Melkonian, M., Kamerling, J.P. (1998). "The cell wall (theca) of *Tetraselmis striata* (Chlorophyta): Macromolecular composition and structural elements of the complex Polysaccharides." J. Phycol. **34**(5): 779-787.

Belkevich, P. I., I. I. Lishtvan, et al. (1984). Complete Processing of Peat and Sapropel and its Prospects. Proc. 7th international Peat Congress, Dublin.

Benda, L. and S. Paschen (1993). "Kieselgur (Diatomit) - ein vielseitig genutzter Rohstoff." Geol. Jb. **A142**: 383-398.

Benda, L. u. B., H. (1974). "Die Kieselgur-Lagerstätten Niedersachsens. I. Verbreitung, Alter, Genese." Geologisches Jahrbuch **A 21**: 3-85.

Benda, L. u. M., B. (1977). "Die Kieselgur-Lagerstätten Niedersachsens. II. Rohstoffanalyse und Qualitätskennzeichnung im Hinblick auf die Verwertbarkeit." Geologisches Jahrbuch **D 22**: 3-107.

Berglund, K. (1995a). "Properties of cultivated gyttja soils." International Peat Journal **6**: 5-23.

Berglund, K. (1995b). "Optimal drainage depth of five cultivated organic soils." Swedish Journal of Agricultural Research **25**: 185-196.

Berglund, K. (1996b). "Agricultural improvement of cultivated organic soils. 1. Effects of liming and deep cultivation on soil properties and root development." Soil Use and Management **12**: 176-180.

Berglund, K. (1996c). "Agricultural improvement of cultivated organic soils. 1. Effects of deep cultivation, liming, irrigation and P-fertilisation on crop yields." Soil Use and Management **12**: 169-175.

Berglund, K. (1996d). Cultivated Organic Soils in Sweden: Properties and Amelioration. Department of Soil Sciences. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. **PhD**.

Berglund, K. and L. Persson (1996a). "Water repellence of cultivated organic soils." Acta Agricultura Scandinavica **46**: 145-152.

Berkenhagen, J. (1998). Die Morphologie von Oberflächenverschlammungen bei varierten Entstehungsbedingungen und ihre Bestimmung mit Hilfe der Röntgen-Computertomographie. Fachbereich 7 - Umwelt und Gesellschaft. Berlin, Technische Universität Berlin. **Dissertation**: 145 S.

- Beyer, K. (1943). Bericht über die geologische Voruntersuchung der Moor-Sapropelvorkommen in Lettland, mit Gewinnung von Öl und festem Brennstoff aus Sapropel.: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.
- Bgatov, V. I., N. P. Zapivalov, et al. (1985). "Sapropels of the Novosibirsk Oblast." Geologiya i Geofizika **26**(3): 10-15.
- Birks, H. J. B. and H. H. Birks (1980). Quaternary palaeoecology. Baltimore, University Park Press.
- Birnbacher, H. (1958). Die Lebermudden des Federseemoores als Sediment und Boden. Hohenheim, Landwirtschaftliche Hochschule Hohenheim. **Dissertation**.
- Bodenkundliche_Kartieranleitung (1994). Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden. Hannover.
- Bodenkundliche_Kartieranleitung (2005). Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden. Hannover.
- Bramer, H., Hendl, M., Marcinek, J., Nitz, B., Ruchholz, K., Slobodda, S. (1991). Physische Geographie von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. Gotha, Haack-Gotha.
- Brückner, W. (1961). Geologische Oberflächenkarte: Blatt 2338 Dobbertin. Geologische Oberflächenkarte.
- Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft-Bodenschutz (2003). Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden, zzgl. Anhang: Tabelle der Hintergrundwerte für Böden (3. Auflage).
- Chmielewski, J. (1997). "Das Baberowmoor - Moor- und Landschaftsgenese im Bereich der Pommerschen Eisrandlage." TELMA **27**: 23-33.
- Chmielewski, J. (2005). Moorkundliche Untersuchungen in der Beetgrabenniederung und bei Berkholz (Uckermark). (unveröffentlicht), Im Auftrag des Fördervereins "Lychen-Feldberger Seenlandschaft" e.V.: 3 Seiten.
- Chow, A. T., K. K. Tanji, et al. (2006). "Temperature, water content and wet-dry cycle effects on DOC production and carbon mineralization in agricultural peat soils." Soil Biology & Biochemistry **38**: 477-488.
- Cislerova, M. and J. Votrubova (2002). "CT derived porosity distribution and flow domains." Journal of Hydrology **267**: 186-200.
- Collins, M. E. and R. J. Kuehl (2001). Organic Matter Accumulation and Organic Soils. In: Richardson, J.L. and Vepraskas, M.J. (eds.): Wetland Soils, Genesis, Hydrology, Landscapes and Classification. Boca Raton.
- Dahms, E. (1972). "Limnogeologische Untersuchungen im Dümmer-Becken im Hinblick auf seine Bedeutung als Natur- und Landschaftsschutzgebiet."

Damicz, J. (2003). "Propozycja szacowania scislwosci gytii i kredy jeziornej (in poln. Sprache) (The proposal of compressibility estimation for gyttja and lacustrine chalk)." Przegląd Geologiczny **51**(5): 419-424.

Dannenberger, D. (1999). Schadstoffbelastung der Oberflächensedimente ausgewählter Seen Mecklenburg-Vorpommerns, unveröffentlichte Ergebnisse im Auftrag des LUNG Mecklenburg-Vorpommerns: 18 S.

Dean, W. E. (1981). "Carbonate minerals and organic matter in sediments of modern north temperate hard water lakes." Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists **31**: 213-231.

Dean, W. E. (1999). "The carbon cycle and biogeochemical dynamics in lake sediments." Journal of Paleolimnology **21**: 375-393.

Dietrich, C. P., Farias, G.G.M., Deabreu, L.R.D., Leite, E.L., Dasilva, L.F., Nader, H.B. (1995). "A new approach for the characterization of polysaccharides from algae: Presence of four main acidic polysaccharides in three species of the class Phaeophyceae." Plant Science **108**(2): 143-153.

Driescher, E. (1974). Veränderungen an Gewässern in historischer Zeit. Geographisches Institut. Berlin, Humboldt Universität. **Dissertation B**: 427 Seiten.

Edom, F., Chmielewski, J. und Stegmann, H. (2003). Die Moore des böhmischen und sächsischen Elbsandsteingebirges. Teil 3: Hydrogenese ausgewählter ostelbischer Moore sowie von Rajecke raseliniste. Unveröffentl. Gutachten (Ergebnisbericht). Im Auftrag des Nationalparks Sächsische Schweiz.: 31 Seiten und 20 Anlagen.

Eggelsmann, R. (1981). Dränanleitung. Hamburg, Berlin, Paul Parey Verlag.

Elliott, E. T., R. V. Anderson, et al. (1980). "Habitable pore space and microbial trophic interactions." Oikos **35**: 327-335.

Ellis, S., Atherton, J.K. (2002). "Properties and development of soils on reclaimed alluvial sediments of the Humber estuary, eastern England." Catena **73**1: 1-19.

Fægri, K. and J. Iversen (1964). Textbook of pollen analysis. New York, Hafner.

FAO (1998). World Reference Base of Soil Resources. Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

FAO (2001). World Soil Resources Reports 94: Lecture Notes on the major soils of the world. Rome, Food and Agriculture Organisation of the United Nations.

Fedorovic, D. I. and A. I. Fomin (1964). "Wärmephysikalische Eigenschaften der Sapropelle und die

Besonderheiten beim Durchfrieren (in russisch)." Torfjanaja promyslennost' **41**: 18-21.

Felder, M. and R. Gaupp (2003). "Zur Genese von Sideritanreicherungen in den See-Sedimenten von Baruth, Sachsen." Zeitschrift für geologische Wissenschaften **31**(4-6): 313-329.

Freytet, P. and E. P. Verrecchia (2002). "Lacustrine and palustrine carbonate petrography." Journal of Paleolimnology **27**: 221-237.

Gehl, O. (1959). "Seekreide, ein wenig beachteter Rohstoff von örtlicher Bedeutung für Land- und Bauwirtschaft." Zeitschrift für angewandte Geologie **2**: 73-76.

Gensior, A., Zeitz, Jutta (1999). "Influence of a reflooding measure on the dynamics of chemical and physical soil properties of a degraded fen." Archives of Nature Conservation and Landscape Research **38**(2-4): 267-302.

Golden, M. L. (2003). Keys to Soil Taxonomy, United States, (Ninth Edition), Department of Agriculture.

Gorham, E., W. E. Dean, et al. (1983). "The chemical composition of lakes in the north-central United States." Limnology and Oceanography **28**: 287-301.

Gorham, E. and J. E. Sanger (1975). "Fossil pigments in Minnesota lake sediments and their bearing upon balance between terrestrial and aquatic inputs to sedimentary organic matter." Verhandlungen Internationaler Verein Limnologie **19**: 2267-2273.

Göttlich, K. H. (1990). Moor- und Torfkunde. Stuttgart.

Grosse-Brauckmann, G. (1961). "Zur Terminologie organogener Sedimente." Geologisches Jahrbuch **79**: 117-144.

Grosse-Brauckmann, G. (1962). "Zur Moorgliederung und -ansprache." Zeitschr. f. Kulturtechnik **3**: 6-29.

Grosse-Brauckmann, G. (1994). "Probleme der Kartierung und Systematik der Moorböden - Eine Diskussion in Lingen und was bislang daraus geworden ist." TELMA **24**: 31-56.

Group, S. C. W. (1998). The Canadian System of Soil Classification (third edition), Agriculture and Agri-Food Canada.

Grunert, A. (2002). Vergleich der Bodenentwicklung in den abgelassenen Flachseen Dobbiner und Klädener Pläse im Zusammenhang mit der Nutzungsgeschichte. Geographisches Institut. Berlin, Humboldt Universität zu Berlin. **Diplomarbeit**: 79 Seiten.

Hansen, K. (1959). "The terms gyttja and dy." Hydrobiologia **13**: 309-315.

Hartung, J. and B. Elpelt (1999). Multivariate Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. München, Wien, R. Oldenbourg Verlag.

Hassink, J., L. A. Bouman, et al. (1993). "Relationship between habitable pore space, soil biota and mineralisation rates in grassland soils." Soil Biology & Biochemistry **25**: 47-55.

Hebmüller, F. (2003). Einflussfaktoren auf die Kieselgurfiltration von Bier, Technische Universität Freiberg. **Dissertation**.

Heiri, O., A. F. Lotter, et al. (2001). "Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results." Journal of Paleolimnology **25**: 101-110.

Hendl, M. (1991). Das Klima. In Bramer et al. (1991). Physische Geographie von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen. Gotha, Haack-Gotha.

Henning, O. u. A. K. (1983). "Einfluss von Calcit auf die Hydratation von Portlandzement." Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar **29**(1): 75-77.

Henrion, R. and G. Henrion (1995). Multivariate Datenanalyse. Berlin, Springer.

Hochbergs, R. (1943a). Bericht über Voruntersuchung von Sapropelvorräten im Dschukstenes-Moor Nr. 1105, Gemeinde Lestens, Kreis Tuckum. Unveröffentlichter Bericht.: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.

Hochbergs, R. (1943b). Bericht über Voruntersuchung von Sapropelvorräten im Spigummoor Nr. 679, Gemeinde Lestens, Kreis Tuckum. Unveröffentlichter Bericht.: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.

Hochleitner, R. (1996). GU Naturführer Mineralien. München, Gräfe und Unzer.

Hodgson, D. A. (1999). "The formation of flocculated clay laminae in the sediments of a meromictic lake." Journal of Paleolimnology **21**: 263-269.

Hornburg, V. and B. Lürer (1999). "Vergleich zwischen Total- und königswasserextrahierbaren Elementgehalten in natürlichen Böden und Sedimenten." Journal of Plant Nutrition and Soil Science **162**: 131-137.

Hurtig, T. (1966). "Betrachtungen über den Verlauf der Hauptwasserscheide in Mecklenburg." Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock, Math.-nat. Reihe **15**(3/4): 581-585.

Illner, K. (1958). Gutachten über die Moorbodenaufnahme „Dobbertiner Plage“ bei Dobbertin. Berlin, Institut für Bodenkartierung, Abteilung Moorboden.

Ilnicki, P. (1995). "Eine neue Inventur der polnischen Feuchtgebiete." TELMA **25**: 57-67.

Ilnicki, P. (2002). Torfowiska i Torf. Poznan, Wydawnictwo AR w Poznaniu.

Ishiwatari, R. (1985). Geochemistry of humic substances in lake sediments. In: Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., MacCarthy, P. (eds.): Humic Substances in Soil, Sediment, and Water. Geochemistry, Isolation, and Characterization. New York, Wiley: 147-180.

Ishiwatari, R. (1992). "Macromolecular material (humic substance) in the water column and sediments." Marine Chemistry **39**: 151-166.

Jäger, K.-D. (1966). Holozäne Binnenwasserkalke und ihre Aussage für die nacheiszeitliche Klima- und Landschaftsentwicklung im südlichen Mitteleuropa. Grundlagen und Grundzüge einer vergleichenden Stratigraphie unter besonderer Berücksichtigung Thüringens. Halle, Universität Halle. **Dissertation**.

Janzen, K., Henneberg, M., Morscheck, G. (1994). Nutzung von Schlick und Umweltverträglichkeit von Spülfeldern im Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommerns (BMFT-Forschungsvorhaben Nr. 1460750, Abschlussbericht.). Rostock, Universität Rostock, Fachbereich Landeskultur und Umweltschutz.

Jeschke, L., Lenschow, U. (2003). Die Naturschutzgebiete in Mecklenburg-Vorpommern. Schwerin, Demmler Verlag.

Joosten, H. (1993). "Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. Thinking like a raised bog: Hydrological selfregulation of raised bogs and its importance for rewetting and restoration." Telma **23**: S. 95-116.

Jurczuk, S. (1981). "Własciwosci wodne gleb gytiowo-murszowych, wytworzonych z gytii ilasto-detrytusowej." Wadomosci Instytutu Melioracji i Uzytkow Zielonych **14**(2): 11-19.

Kahle, M., M. Kleber, et al. (2002). "Carbon storage in loess derived surface soils from central Germany: Influence of mineral phase parameters." Journal of Plant Nutrition and Soil Science **165**: 141-150.

Kaiser, K. (2001). Die spätglaziale bis frühholozäne Beckenentwicklung in Mecklenburg-Vorpommern. Untersuchungen zur Stratigraphie, Geomorphologie und Geoarchäologie. Greifswald, Universität Greifswald.

Kalbitz, K., W. Geyer, et al. (1999). "Spectroscopic properties of dissolved humic substances - a reflection of land use history in a fen area." Biogeochemistry **47**: 219-238.

Kappler, A., R. Ji, et al. (2001). "Dynamics in composition and size-class distribution of humic substances in profundal sediments of Lake Constance." Organic Geochemistry **32**: 3-10.

Karlsson, R. and S. Hansbo (1981). Soil classification and identification. Stockholm, Swedish Council for Building Research.

Kemp, A. E. S., R. B. Pearce, et al. (1999). "The role of mat-forming diatoms in the formation of Mediterranean sapropels." Nature **398**: 57-61.

Kiefer, E., Sigg, L., Schosseler, P. (1997). "Chemical and spectroscopic characterization of algae surfaces." Environ. Sci. Technol. **31**: 759-764.

Kim, D. J., Feyen, J., Vereecken, H., Boels, D., Bronswijk, J.J.B. (1993). "Quantification of physical ripening in an unripened marine clay soil." Geoderma **58**: 67-77.

Kirchmann, H. and M. H. Gerzabek (1999). "Relationship between soil organic matter and micropores in a long-term experiment at Ultuna, Sweden." Journal Plant Nutrition and Soil Science **162**: 493-498.

Kirsteins, O. (1943). Bericht über Sapropelforschungen im Tavainu-Moor Nr. 347, Gemeinde Gross-Roop, Kreis Wenden (unveröffentlichter Bericht): zahlreiche S., grafische Darstellungen.

Kivinen, E. (1938a). Untersuchungen über die Eigenschaften der Gytjeböden. Agrogeologisia julkaisuja (Bulletin of the Soil Division of the Central Agricultural Experiment Station of Finland). Helsinki. **48**: 36 Seiten.

Kivinen, E. (1938b). "Ein Gytjagebiet der Bucht Papulanlahti in der Stadt Viipuri." Agrogeologisia Julkaisuja (Bulletin of the Soil Division of the Central Agricultural Experiment Station of Finland) **49**: 14 Seiten.

Klimmek, S. (2003). Charakterisierung der Biosorption von Schwermetallen an Algen. Berlin, Technische Universität Berlin. **Dissertation**.

Klinger, G. (1981). "Über die Anwendung der Klassifikation fester mineralischer Rohstoffe auf Lagerstätten von Torfen und Mudden." Zeitschrift für angewandte Geologie **27**(5): 226-229.

Kloareg, B., Quatrano, R.S. (1988). "Structure of the cell walls of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides." Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev. **26**: 259-315.

Knapp, M. (1997). Standorts- und vegetationskundliche Untersuchungen an Torfstichen der Friedländer Großen Wiese. Botanisches Institut. Greifswald, Ernst-Moritz-Arndt-Universität. **Diplomarbeit**.

Knoth, M., Lenk, G. und Ruske, R. (1969). "Zum Mittelpleistozän in der Umgebung von Dessau." Jahresschrift für mitteldeutsche Vorgeschichte **53**: 17-34.

Kohl, J.-G., Nicklisch, A. (1988). Ökophysiologie der Algen. Berlin, Akademie-Verlag.

Kopp, D., Schwanecke, W. (1994). Standörtlich-naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. Berlin.

Kopp, D. u. a. (1969). Ergebnisse der Standortserkundung.

Koschel, R. (1997). "Structure and function of pelagic calcite precipitation in lake ecosystems." Verh. Internat. Verein. Limnol **26**: 343-349.

Kruege, M. A., P. Landais, et al. (1996). "Artificial maturation of alginite and organic groundmass separated from torbanites." Organic Geochemistry **24**(6/7): 737-750.

Kuder, T. and M. A. Kruege (2001). "Carbon dynamics in peat bogs: Insight from substrate macromolecular chemistry." Global Biogeochemical Cycles **15**(3): 721-727.

Landva, A. O., E. O. Korpjääkko, et al. (1983). "Geotechnical Classification of Peats and Organic Soils." Testing of Peats and Organic Soils: 37-51.

Lange, E., Schultz, A. (1965). "Pollenanalytische Datierung spätglazialer und holozäner Sedimente im zentralen Thüringer Becken." Wissenschaftliche Zeitschrift der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Math.-nat R. **14**(4): 55-58.

Largin, I. F. (1972). Peat deposit structure and properties depending on peat forming conditions. Proceedings of the 4th International Peat Congress, Otaniemi.

Largin, I. F. (1973). "The classification of peats by the genetic principle." unbekannt **17**: 169-185.

Largin, I. F. (1984). Properties of high-moor peat deposits with ridge-depression bog complexes of vegetation. Proceedings of the 7th International Peat Congress, Dublin/Ireland.

Largin, I. F. (1996). Stratigraphy and quality of lacustrine sapropels with peat-bog encatchment. Proceedings of the 10th International Peat Congress, Bremen.

Largin, I. F. and A. F. Tarantov (1983). Mineralogical composition of sapropels. Proc. International Symposium, Comm. IV and II IPS, Minsk 1982.

Larsson, R. (1990). Behaviour of Organic Clay and Gytja: Results from Investigations in Swedish Gytja-bearing Soils Supplemented with Results from a Similar Finish Investigation and Experience from Sulphide-Rich Soils (svartmocka). Linköping, Swedish Geotechnical Institute: 153.

Lee, C. and S. G. Wakeham (1992). "Organic matter in the water column: future research challenges."

Marine Chemistry **39**: 95-118.

Leineweber, P., H.-R. Schulten, et al. (2001). "Fulvic acid composition in degraded fenlands." Journal Plant Nutrition and Soil Science **164**: 371-379.

Lisch, G. C. F. (1841). Jahrbücher des Vereins für mecklenburgische Geschichte und Alterthumskunde. **Heft 6**.

Lukashev, V. K. and G. V. Novikov (1991). "Geochemical examination of lake sapropels used as fertilizers and fodder additives, U.S.S.R." Applied Geochemistry **6**: 523-531.

Lundquist, G. (1927). Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Lüttig, G. (1996). "Herkunft, Bedeutungswandel und zweckmäßige Neudefinition des Begriffes Sapropel." TELMA **26**: 27-40.

Lutze, G., Kiesel, J. (2006). Landschaften beobachten, nutzen und schützen - Studien in der Agrarlandschaft Chorin. (i.Dr.).

Macedo, A., S. Crestana, et al. (1998). "X-ray microtomography to investigate thin layers of soil clod." Soil and Tillage Research **49**: 249-253.

Maczey, S. (2002). Sedimentologische und bodenkundliche Untersuchungen an Diatomeenmudden. Geographisches Institut. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin. **Diplomarbeit**: 95 Seiten.

Maczey, S., Chmielewski, J. (2003). "Bodenkundliche Aspekte und Erkennungsmerkmale von Diatomeenmudden (Diatomous mud as parent material for the soil development: Identification in the field and soil physical and chemical properties)." TELMA **33**: 133-149.

Majewski, J. (1961). "Pollenanalytische Untersuchung der Kieselgur von Klieken." Geologie **10**(32): 10-14.

Mania, D. (1967). "Der ehemalige Ascherslebener See in der spät- und postglazialen Zeit." Hercynia **4**(2).

Manthey, G. (1998). Sedimentuntersuchungen des Labor für Umweltanalytik (LUA) GmbH, unveröffentlichte Ergebnisse im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Lauenburg.

Martinson, A. G. (1964). "Die Entwässerung von Mooren mit Sapropelablagerungen im Untergrund (in russisch)." Torfjanaja promyslennost' **41**: 17-20.

Mauersberger, H. and R. Mauersberger (1996). Die Seen des Biosphärenreservates Schorfheide-Chorin –

eine ökologische Studie. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Greifswald, Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald. **Dissertation:** 420.

Mavrocordatos, D., C. Mondy-Couture, et al. (2000). "Formation of a distinct class of Fe-Ca(-Corg)-rich particles in a complex peat-karst system." Journal of Hydrology **237**: 234-247.

McMillan, S. G. and U. Schwertmann (1998). "Morphological and genetic relations between siderite, calcite and goethite in a Low Moor Peat from southern Germany." European Journal of Soil Science **49**: 283-293.

Menke, B. (1989). Seeablagerungen. In: Geogenetische Definitionen quartärer Lockergesteine für die Geologische Karte 1:25 000 (GK 25). BGR. Hannover. **Geologisches Jahrbuch Reihe A Heft 112**.

Menning, P., Pätzold, H. (1983). Gutachten zur Melioration und Nutzung der Dobbiner Plage (Kreis Lübz), Teil 1 und 2. Rostock 1982/83. Bei der Agrargenossenschaft Dobbartin.

Merkt, J. (1985). Untersuchungen zur seeinternen Ursache erhöhter Schwermetallkonzentrationen in Seeablagerungen. Hannover, Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.

Merkt, J., Lüttig, G. und Schneekloth, H. (1971). "Vorschlag zur Gliederung der limnischen Sedimente." Geol. Jb. **Band 89**: S. 607–623.

Möller, D. (2003). Luft: Chemie · Physik · Biologie · Reinhaltung · Recht. Berlin, New York, DeGruyter.

(Naturpark Nossentiner/Schwinzer Heide (Hrsg.) 1999). "Ausstattung, Entwicklung und Pflege wertvoller Naturräume." Aus Kultur und Wissenschaft: Schriftenreihe des Landesamtes für Forsten und Großschutzgebiete Mecklenburg-Vorpommern. **Heft 2**.

Naumann, E. (1929). "Einige Bemerkungen zur Terminologie des Sapropels." Archiv für Hydrobiologie **20**: 700-703.

Naumann, E. (1930). Einführung in die Bodenkunde der Seen, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Nowak, K.-E. (1997). Prüfbericht Nr. 1491/96, unveröffentlichte Ergebnisse im Auftrag des StAUN Neubrandenburg: 36 S.

Österberg, R. and L. Szajdak (1994). "Temperature-dependent restructuring of fractal humic acids: a proton-dependent process." Environment International **20**(1): 77-80.

Overbeck, F. (1975). Botanisch-geologische Moorkunde, Wachholtz.

Pacyna, J. M. (1986). "Atmospheric trace elements from natural and anthropogenic sources." Advances in

Environmental Science and Technology **17**: 33-52.

Pacyna, J. M. and J. O. Nriagu (1988). "Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals." Nature **333**: 134-139.

Paschen, S. (1986). "Kieselgur - Gewinnung, Aufbereitung und Verwendung." Erzmetall **39**(4): 158-162.

Passarge, S. (1901). Die Kalkschlammablagerungen in den Seen von Lychen, Uckermark. Berlin, Königlich Preußischen Geologischen Landesanstalt.

Paulmann, A., Marquart, S. (1998). Bodenphysikalische und bodenchemische Charakterisierung von Kalkmudden. Studiengang Technischer Umweltschutz an der Technischen Universität Berlin. Studienprojekt.

Petersen, A. (1952). Die neue Rostocker Grünlandschätzung. Berlin, Akademie-Verlag.

Pfaffenberg, K., Dienemann, W. (1964). Das Dümmerbecken. Hildesheim.

Piasek, H., S. Smolczynski, et al. (1997). "Sorptive properties of hydrogenic soils from the Vistula estuary area." Polish Journal of Soil Science **30**(2): 15-22.

Piasek, H., S. Smolczynski, et al. (1998). "Physical, water and retaining properties of hydrogenic soils of the Vistula delta." Polish Journal of Soil Science **31**(2): 9-14.

Polish System of Soil Classification (1989): In: Soil Genesis Classification and Cartography of the Polish Society of Soil Science (1989). Commission V. PTG. Roczn. Glebozn. 40 (3/4). 1-150. (in polnisch, engl. Zusammenfassung). Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (1997) **84**: 247-374.

Pons, L. J., Zonneveld, I. S. (1965). "Soil Ripening and Soil Classification. Initial Soil Formation of Alluvial Deposits with a Classification of the resulting Soils."

Postma, J. and A. van Veen (1990). "Habitable pore space and survival of *Rhizobium leguminosarium* biovar *trifolii* introduced into soil." Microbial Ecology **19**: 149-161.

Potonié, H. (1908). Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten, Band 1. Die Sapropelite. Berlin, Königlich Preußische Geologische Landesanstalt.

Potonié, H. (1911). Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten, Band 2. Die Humusbildungen (1. Teil). Berlin, Königlich Preußische Geologische Landesanstalt.

Potonié, H. (1912). Die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten, Band 3. Die Humusbildungen (2. Teil)

und die Liptobiolithe. Berlin, Königlich Preußische Geologische Landesanstalt.

Potonié, H. (1915). Ergänzende Tafeln zur Abhandlung Potonié's über die rezenten Kaustobiolithe und ihre Lagerstätten. Berlin, Königlich Preußische Geologische Landesanstalt.

Potonié, H. (1932). Mikrobotanische Untersuchung des Diatomeen-Ockers aus der Stadtischen Kiesgrube in Prenzlau.4.

Potonié, H. (1935). Pollenanalyse: Sapropel und Kalkfaulschlamm unter Torf (Blatt Beutnitz), Montanarchiv Preußische Geologische Landesanstalt: 1.

Poznjak, V. S., Z. M. Slivka, et al. (1967). "Gewinnung eines kombinierten Bindemittels auf der Grundlage von Sapropel (Torf) (in russisch)." Torfjanaja promyslennost' **44**: 33-35.

Rau (1997). Erläuterungen zur Bodenkarte 1:25 000 von Thüringen, Blatt Kindelbrück, Nr. 4732. Weimar, Thüringer Landesanstalt für Geologie: 107 Seiten.

Ray, B., Lahaye, M. (1995). "Cell-wall polysaccharides from the marine green alga *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta). Chemical structure of ulvan." Carbohydr. Res. **274**: 313-318.

Rimstidt, J. D., Balog, A. (1998). "Distribution of trace elements between carbonate minerals and aqueous solutions." Geochimica et Cosmochimica Acta **62**(11): 1851-1863.

Roeschmann, G., Grosse-Brauckmann, G. (1993). "Vorschläge zur Erweiterung der Bodensystematik der Moore." Geologisches Jahrbuch **29**: 49 S.

Rog, Z. (1978). "Some Morphological Features as the Indexes of Lacustrine Sedimentation Conditions." Pol. Arch. Hydrobiol. **25**: 355-359.

Rog, Z. (1979). "Genesis of funnel-forms occuring in carbonate fluvioglacial sands and gravels." Polish Journal of Soil Science **12**: 53-58.

Rogasik, H., J. W. Crawford, et al. (1999). "Discrimination of Soil Phases by Dual Energy X-ray Tomography." Soil Science Society of America Journal **63**: 741-751.

Rogasik, H., Weinkauff, H., Seyfarth, M. (1997). "Methodik und Technologie zur Entnahme ungestörter Bodenproben." Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **Vol. 41**: 199-207.

Röhr, M. (1993). Statistische Strukturanalysen. Stuttgart, New York, Gustav Fischer Verlag.

Rosenbaum-Mertens, J. (2003). Seesedimente als Schadstoffarchive - Veränderungen im Schwermetalleintrag in die Umwelt seit 1945 - Hochauflösende Untersuchungen von Seeablagerungen in Industriezonen und naturlastigen Bereichen. Fachbereich 9. Duisburg, Essen, Universität Duisburg-Essen. **Dissertation**: 249 S.

Rösler, H. J. (1951). "Das Kieselgurlager von Klieken bei Coswig (Anhalt)." Bergakademie **3**(1): 9-14.

Rühberg, N., Schulz, W., von Bülow, W., Müller, U., Krienke H.-D. (1995). Mecklenburg-Vorpommern. In: Benda, L. (Hrsg.): Das Quartär Deutschlands. Berlin, Stuttgart.

Rybicki, S. and U. Zurek-Pysz (1989). "Inżyniersko-geologiczna charakterystyka kredy jeziornej i gytii ze złoź srodkowego Pomorza (in. poln. Sprache) (Geologic-engineering characteristic of lacustrine chalk and gyttja in the Middle Pomerania deposits)." Kwartalnik Geologiczny **33**(2): 313-328.

Sandrock, S., Scharf, E.-M. (1994). Gutachten zur Schadstoffbelastung der Sedimente ausgewählter Seen des Landes Mecklenburg-Vorpommern.

Sanger, J. E. and E. Gorham (1970). "The diversity of pigments in lake sediments and its ecological significance." Limnology and Oceanography **15**: 59-69.

Schalitz, G. (2006). Vegetationsentwicklung auf landwirtschaftlich genutzten Grünflächen des Ziethener Seebruchs und konzeptionelle Betrachtungen der Wiedervernässung. Landschaften beobachten, nutzen und schützen - Studien in der Agrarlandschaft Chorin (i.Dr.). G. Lutze, et al.

Scheffer, F., neubearb. und erw. von Hans-Peter Blume (2002). Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg, Spektrum Akademischer Verlag GmbH.

Schleier, C., Behrendt, A. (2000). "Kennzeichnung von Eigenschaften der Folgeböden Nordostdeutscher Niedermoore: Aus Anlaß des 65. Geburtstages von Dr. Wilhelm Schmidt." Archives of Agronomy and Soil Science **45**(3): 207-221.

Schmidt, W. (1986). "Zur Bestimmung der Einheitswasserzahl von Torfen." Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **Band 30**(Heft 5): 251-257.

Schmidt, W. (1988). Untersuchungen zur Bestimmung des Verformungsverhaltens von Torfen und Mudden und der dafür maßgeblichen Bodenkennwerte. Institut für Futterproduktion. Paulinenaue, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften: 75, zzgl. Tabellen und Abbildungen.

Schmidt, W. (1992). "Untersuchungen zur Beschreibung und Klassifikation von Torfen und Mudden für landwirtschaftliche und bautechnische Zwecke." Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung **33**: 42-51.

Schmidt, W. (1992). "Untersuchungen zur Bestimmung der Reindichte von Torfen und Mudden." Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **36**: 259-265.

Schmidt, W., Scheibner, H. (1988). "Zur Bestimmung des Gehaltes an organischer Substanz von Torfen und Mudden." Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde **32**: 423-433.

Schnurrenberger, D., J. Russell, et al. (2003). "Classification of lacustrine sediments based on sedimentary components." Journal of Paleolimnology **29**: 141-154.

Schulten, H.-R. (1999). "Analytical pyrolysis and computational chemistry of aquatic humic substances and dissolved organic matter." Journal of Analytical and Applied Pyrolysis **49**: 385-425.

Seemann, J., Staemmler, M., Belitz, D., Steiner, O., Dreyer, H. (1999). "Verwertungsstrategien für aquatische Sedimente in Mecklenburg-Vorpommern." Materialien zur Umwelt **3/99**.

Soil Classification Working Group (1998): The Canadian System of Soil Classification (third edition), Agriculture and Agri-Food Canada.

Spaargaren, O. (2006). Zur Klassifikation von limnic material in der WRB. mündl. Mitteilung.

Sposito, G. (1989). The Chemistry of Soils, Oxford University Press.

Standortgutachten (1967). Gutachten über die Moorbodenaufnahme Mildenitz, Institut für Bodenkartierung, Abteilung Moorboden.

Standortgutachten (1969). Vorbereitungs- und Ausführungsunterlagen Melioration im Moosbruch Jatznick, Institut für Bodenkartierung, Abteilung Moorboden.

Stegmann, H. (2005). Die Quellmoore im Sernitztal (NO-Brandenburg) - Genese und anthropogene Bodenveränderungen. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät. Greifswald, Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald. **Dissertation**: 94 S., zzgl. Anhang.

Stegmann, H., M. Succow, et al. (2001). Muddearten. In: Succow, M., Joosten, H., et al. (2001): Landschaftsökologische Moorkunde, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Stevenson, F. J. (1994). Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions, Wiley.

Stoyan, D., H. Stoyan, et al. (1997). Umweltstatistik: Statistische Verarbeitung und Analyse von Umweltdaten. Stuttgart, Leipzig, Teubner.

Succow, M. (1988). Landschaftsökologische Moorkunde. Jena, Gustav-Fischer-Verlag.

Succow, M., H. Joosten, et al. (2001). Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Taylor, I. S., D. M. Paterson, et al. (1999). "The quantitative variability and monosaccharide composition of sediment carbohydrates associated with intertidal diatomeen assemblages." Biogeochemistry **45**: 303-327.

TGL (1985): Aufnahme landwirtschaftlich genutzter Standorte - Moorstandorte. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. Berlin. 13 S.

Thieken, A. (2001). Schadstoffmuster in der regionalen Grundwasserkontamination der mitteldeutschen Industrie- und Bergbauregion Bitterfeld-Wolfen. Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät. Halle, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Dissertation: 214 S.

Timmermann, T. (1999). Sphagnum-Moore in Nordostbrandenburg: Stratigraphisch-hydrodynamische Typisierung und Vegetationswandel seit 1923. Berlin, Stuttgart, J. Cramer.

Tolpa, S., M. Jasnowski, et al. (1967). "System der genetischen Klassifizierung der Torfe Mitteleuropas." Zeszyty problemowe postepow nauk Rolniczych **76**: 9-99.

Tröels-Smith, J. (1955). "Karaterisering of lose jordarter Danmarks." Geologiske Undersogelse **3**(10): 73.

Uggla, H. (1964). Gyttjaböden in Nordpolen. Transactions 8th International Congress of Soil Science, Bucharest.

Uggla, H. (1968). "Bagienne i murszowe gleby gytiowiska gazwa." Roczniki gleboznawcze **18**(2): 369-413.

Uggla, H. and Z. Mirowski (1968). "Einfluss der Murschprozesse auf die Eigenschaften der Humusstoffe in Gytjaböden." Roczniki gleboznawcze **19**: 149-161.

Uggla, H., Z. Rog, et al. (1972). "Micromorphology of gyttja muck soils of Jawty Male." Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych **123**: 481-489.

Unger, K. P. (1963). Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der DDR 1:25 000, Blatt Weissensee 4732. Berlin, Zentrales Geologisches Institut: 164 Seiten.

Valcke, E. and A. Cremers (1998). "The use of sapropels as amendments in radiocaesium and radiostrontium contaminated soils." Applied Geochemistry **13**: 155-164.

van Cappellen, P., Chalet, P. (1993). "A surface complexation model of the carbonate mineralaqueous solution interface." Geochim. Acta **57**: 3505-3518.

Velty, S. (2005). Einfluss von Wiedervernässungsmaßnahmen auf den Stoffhaushalt degradierter Niedermoore. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Fachgebiet Bodenkunde und Standortlehre. Berlin, Humboldt Universität zu Berlin. **Dissertation: 97.**

Velty, S. and J. Zeitz (2002). "Soil properties of drained and rewetted fen soils." Plant Nutrition and Soil Science **165**(5): 618-626.

Verheyen, K., D. Adriaens, et al. (2001). "High-resolution continuous soil classification using morphological soil profile descriptions." Geoderma **101**: 31-48.

Vigants, J. (1943a). Bericht über die provisorische Erkundigung von Sapropelvorräten im Sepras-Moor Nr. 678, Gemeinde Sebrene, Kreis Tuckum. Unveröffentlichter Bericht.: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.

Vigants, J. (1943b). Bericht über die vorläufige Erkundigung von Sapropelvorräten im Ezergala-(Oleru)-Moor Nr. 811, Gemeinde Jeri, Kreis Wolmar. Unveröffentlichter Bericht: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.

Vigants, J. and. (1943c). Bericht über die vorläufige provisorische Erkundigung von Sapropelvorräten im Viku-(Grossautzsee)-Moor Nr. 675, Gemeinde Autz, Kreis Mitau. Unveröffentlichter Bericht.: zahlreiche S., grafische Darstellungen, Karten.

von Post, L., Granlund, E. (1926). "Södra Sveriges Torvillgangar." I. Sver.Geol. Undersönkning Arsbok **19**(2): 127 S.

Walpersdorf, E. (2000). Nähr- und Spurelementdynamik im Sediment/Wasser-Kontaktbereich nach einer Seekreideaufspülung - Pilotstudie Arendsee -. Karlsruhe.

Walthelm, L. (1988). "Bauschadensanalyse eines auf Schluff, Torf und Mudde gegründeten Flachbaus." Bautechnik **65**(3): 99-101.

Weber, C. A. (1907). "Aufbau und Vegetation der Moore Norddeutschlands." Beiblatt zu den Botanischen Jahrbüchern **90**: 19-43.

Weber, C. A. (1908). Die wichtigsten Humus- und Torfarten und ihre Beteiligung an dem Aufbau norddeutscher Moore. Festschrift zum 25jährigen Bestehen des Vereins zur Förderung der Moorkultur im Deutschen Reiche, Berlin.

Weber, C. A. (1910). "Was lehrt uns der Aufbau der Moore Norddeutschlands über den Wechsel des Klimas in postglazialer Zeit?" Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft **62**: 143–162.

Wildenschild, D., Hopmans, J.W., Vaz, C.M.P., Rivers, M.L., Rikard, D., Christensen, B.S.B. (2002). "Using X-ray computed tomography in hydrology: systems, resolutions, and limitations." Journal of Hydrology **267**: 285-297.

Zeitz, J. (1988). Untersuchungen zu ausgewählten bodenphysikalischen Kennwerten in Niedermooren im

Hinblick auf Melioration und Bewirtschaftung. Berlin, Humboldt Universität zu Berlin. **Dissertation B:** 116.

Zeitz, J. (1993). "Möglichkeiten der Vernässung von Teilflächen des Oberen Rhinluchs." Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg. **Sonderheft Niedermoore:** 26-29.

Zeitz, J. (2001). Abiotische Kennzeichnung von Moorstandorten (topische Betrachtung) - Physikalisch-hydrologische Kennzeichnung, Kap. 3.4. In: Succow, M. und Joosten, H. (Hrsg.): Landschaftsökologische Moorkunde. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Zogg, M. (1993). Einführung in die Mechanische Verfahrenstechnik. Stuttgart, Teubner-Verlag.

Zurek-Pysz, U. (1992). "Strength and deformability of an organic-calcareous lacustrine deposit (gyttja) in relation to its water content and colloid content." Bulletin of the International Association of Engineering Geology **45**: 117-126.

Dank

An meine Betreuerin und Gutachterin der Arbeit Prof. J. Zeitz sowie die Gutachter Prof. P. Ilnicki und Prof. M. Succow für die Übernahme des Co-Referates.

Für Hinweise zur Flächenauswahl und Bereitstellung von Material an Prof. Ilnicki, Dr. W. Schmidt, Dr. H. Lehrkamp, K. Hohnvehlmann.

An die Helfer bei den Gelände- und Laborarbeiten J. Plessow, S. Jordan, K. Hohnvehlmann, S. Seeger, S. Maczey, A. Grunert und vielen Anderen.

Für die Unterstützung mit Profil- und Labordaten durch die Mitarbeiter des Dezernates Bodengeologie des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg und K. Hohnvehlmann von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie sowie die Durchführung der Pollenanalysen durch Dr. J. Strahl.

An Dr. H. Rogasik und I. Onasch vom Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, Müncheberg für die Unterstützung der Computertomographie.

An die finanziellen Unterstützer der Arbeit, die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und das Berliner Programm zur Förderung der Chancengleichheit von Frauen in Wissenschaft und Lehre.

An alle Freunde, die mich unterstützt haben, vor allem Frank.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit eigenständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur erstellt habe.

Berlin, den 8.5.2006

Jana Chmielecki

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: Profilkennzeichnung

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Anhang 3: Nachweisgrenzen

Anhang 4: Standardparameter

Anhang 5: Chemische Analytik: RFA

Anhang 6: Chemische Analytik: ICP

Anhang 7: Kationenaustauschkapazität

Anhang 8: Physikalische Bodenparameter

Anhang 9: Trockenrohdichte, Substanzvolumen, Glühverlust

Anhang 10: Physikalische Analysen zur Computertomographie

Anhang 11: Statistik der Hauptkomponentenanalyse

Anhang 12a: Anzahl der Datensätze (Substrat-Horizont-Gruppe) für die verschiedenen Parameter

Anhang 12b: Statistische Kennwerte für Substratarten

Anhang 12c: Statistische Kennwerte für Substratobergruppen

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

Anhang 13: Hintergrundwerte

Anhang1: Profilkennzeichnung

Profil-nummer	Aufnahmedatum	Aufnahmeart	Aufnahmeintensität	Profilname	Neigung	Exposition	Wölbung1	Wölbung2	Relieftyp	Nutzung	Anthropogene Beeinflussung	Bemerkung	Substrat 1	Substratwechsel	Substrat2
2450501	31.10.2001	GS	NK,P	Zieth12	N0.1	FL	G	G	TH,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450502	01.11.2001	GS	NK,P	Zieth13	N0.2	FL	G	G	TH,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg		
2450503	01.11.2001	GS	NK,P	Zieth14	N1	FL	G	G	T,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450504		GS	NK,P	Dobb1	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450505		GS	NK,P	Dobb2	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450506		GS	NK,P	Dobb3	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk	/	p-s
2450507		GS	NK,P	Dobb4	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450508		GS	NK,P	Dobb5	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450509		GS	NK,P	Dobb6	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450510		GS	NK,P	Dobb7	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450511		GS	NK,P	Dobb9	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450512		GS	NK,P	Dobb10	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450513		GS	NK,P	Dobb11	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450514	23.07.2002	GS	NK,P	Ob1	N0.2	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben	wellig	og-Ha	\	fl-Fmk
2450515	23.07.2002	GS	NK,P	Ob2	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben	wellig	fl-Fmk		
2450516	24.07.2002	GS	NK,P	Ob4	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben	Randnähe	og-Ha	\	fl-Fmk
2450517	25.07.2002	GS	NK,P	Mos1	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben		og-Ha	/	fl-Fmk
2450518	18.05.2001	GS	NK,P	Jagow1	N0.1	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben		og-Ha	/	fl-Fhg
2450519	18.05.2001	GS	NK,P	Jagow2	N0.2	FL	V1	G	GF,Z	Grünland	Gräben	flach, 10 m vom Graben entfernt	og-Hm	\	fl-Fmk
2450520	22.05.2001	GS	NK,P	Jagow5	N0	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		og-Ha	/	fl-Fmk
2450522	06.07.2001	GS	NK,P	Zehlendorfer Moor1	N0	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben		og-Ha	\	fl-Fmk
2450523	06.07.2001	GS	NK,P	Zehlendorfer Moor2	N0	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben		fl-Fmk		
2450524				Klieken						Abbaufläche	Tagebau		fl-Fmi		
2450525				Klieken						Abbaufläche	Tagebau		fl-Fmi		
2450528	02.05.2001	GS	NK,P	Zieth1	N2.1	E	V	V	H,V	Grünland	Gräben	Hangbereich	fl-Fhg	/	og-Hnr
2450529	02.05.2001	GS	NK,P	Zieth2	N0.2	FL	G	G	TH,F	Grünland	Gräben	flach, Nähe Graben	fl-Fhg	/	og-Hnr
2450530	02.05.2001	GS	NK,P	Zieth3	N0.2	FL	X5	G	ER,R	Grünland	Gräben	Kuppe	o-as	/	fl-Fhg
2450531	12.05.2001	GS	NT,P	Zieth4	N0.2	FL	G	G	TH,F	Grünland	Gräben	Nahe Graben, verbreitet Schmieie (Deschampsia cespitosa)	fl-Fhg	/	og-Hnb
2450532	12.05.2001	GS	NK,P	Zieth5	N0.2	FL	G	G	T,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-nHb
2450533	14.05.2001	GS	NK,P	Zieth6	N0.1	FL	G	G	T,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450534	14.05.2001	GS	NK,P	Zieth7	N1	NB	G	G	HV	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450535	14.05.2001	GS	NK,P	Zieth8	N0.1	FL	G	G	T,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450536	15.05.2001	GS	NK,P	Zieth9	N0.1	FL	G	G	T,F	Grünland	Gräben		fl-Fhg	/	og-Hnb
2450537	15.05.2001	GS	NK,P	Zieth10	N0.1	FL	G	G	TH,F	Grünland	Gräben		og-Ha	\	fl-Fhg
2450538	15.05.2001	GS	NK,P	Zieth11	N2.2	NB	V	V	E,R	Grünland	Gräben		oj-clis	/	fl-Fhg
2450539	22.05.2001	GS	NK,P	Jagow3	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben	lichter Wald (ehemaliger Gutsark)	og-Hm	/	fl-Fmk
2450540	22.05.2001	GS	NK,P	Jagow4	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben	lichter Wald (ehemaliger Gutsark)	og-Ha	/	fl-Fmk
2450541	18.10.2003	GS	NK,P	Jagow11	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		og-Ha	/	fl-Fmk
2450542	18.10.2003	GS	NK,P	Jagow10	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		og-Ha	/	fl-Fmk

Anhang1: Profilkennzeichnung

Profil-nummer	Aufnahmedatum	Aufnahmeart	Aufnahmeintensität	Profilname	Neigung	Exposition	Wölbung1	Wölbung2	Relieftyp	Nutzung	Anthropogene Beeinflussung	Bemerkung	Substrat 1	Substratwechsel	Substrat2
2450543	18.05.2001	GS	NK,P	Mildenitz1	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben	flach	og-Hm	\	og-Fhg
2450544	18.05.2001	GS	NK,P	Mildenitz2	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben		og-Ha	/	og-Fhg
2450545	22.05.2001	GS	NK,P	Mildenitz3	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben	flach, 10 m vom Hang	u-s	\	og-H
2450546	23.05.2001	GS	NK,P	Mildenitz4	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben	flach	u-s	\	og-H
2450547	23.05.2001	GS	NK,P	Mildenitz5	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben	flach	og-Fhg		
2450548	07.07.2001	GS	NK,P	Zehlendorfer Moor3	N0	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben	gegenüber der Umgebung eingesenkt, evtl. alter Recknitzlauf	og-Hn	\	fl-Fmk
2450549		GS	NK,P	MildP2	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben				
2450550		GS	NK,P	MildP3	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben				
2450551		GS	NK,P	MildP1	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben				
2450552		GS	NK,P	Rhin3	N0.1	FL	G	G	GF,Z	ungenutzt	Gräben				
2450553		GS	NK,P	Rhin4	N0.1	FL	G	G	GF,Z	ungenutzt	Gräben				
2450554		GS	NK,P	Duemmer 1	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmi	/	og-Fhg
2450555		GS	NK,P	Duemmer 4	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		fl-Fmi	/	og-Fhg
2450556		GS	NK,P	Duemmer 8	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		og-Fhg	/	fl-Fmk
2450521	08.06.2001	GS	NK,P	Rhin1	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		og-Ha	\	fl-Fmk
2450558	08.06.2001	GS	NK,P	Rhin2	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		og-Ha	\	og-Fhg
2450559	14.04.2001	GS	NK,P	Jatz1	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		og-Hn	\	og-Fhg
2450560	25.07.2002	GS	NK,P	Mos2	N0.1	FL	G	G	O,F,A	ungenutzt	Gräben		og-Ha	\	fl-Fmk
2450561	24.07.2002	GS	NK,P	Ob3	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben	direkt an der Abbaugrube	fl-Fmk		
2450562	24.07.2002	GS	NK,P	Ob5	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben		og-Hn	\	fl-Fmk
2450563		GS	NK,P	Duemmer 2	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmi	///	Hn
2450564		GS	NK,P	Duemmer 3	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		og-Fhg		
2450565		GS	NK,P	Duemmer 5	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		fl-Fmi	/	og-Fhg
2450566		GS	NK,P	Duemmer 6	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		og-Fhg	/	fl-Fmk
2450567		GS	NK,P	Duemmer 7	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		fl-Fmi	/	og-Hn
2450574	01.09.00	GS	NK,P	Mos0	N0.1	FL	G	G	GF,Z	ungenutzt	Gräben				
2450575	23.05.2001	GS	NK,P	Mild6	N0.1	FL	G	G	GF,Z	ungenutzt	Gräben				
2450576		GS	NK,P	Dobb12	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben				
2450577		GS	NK,P	Ob0	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Abbaufläche	Gräben				
2450526		GS	NK,P	Duemmer	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		fl-Fmi	/	og-Hn
2450527		GS	NK,P	Duemmer	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Acker	Gräben		fl-Fmi	/	og-Hn
2450568	07.10.2004	GS	NK,P	Weiss1	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk (u)		
2450569	07.10.2004	GS	NK,P	Weiss2	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk (u)		
2450570	07.10.2004	GS	NK,P	Weiss3	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk (u)		
2450571	07.10.2004	GS	NK,P	Weiss4	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk (u)		
2450572	07.10.2004	GS	NK,P	Sieb1	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		
2450573	07.10.2004	GS	NK,P	Sieb2	N0.1	FL	G	G	GF,Z	Grünland	Gräben		fl-Fmk		

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestufe	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450501	1	I	0	16	16	orFa		h7				feu3		kru	fl	Fhg	c0
2450501	2	I	16	27	11	orFt		h7				feu3		mip	fl	Fhg	c0
2450501	3	I	27	50	23	orFw		h7				feu3		mep	fl	Fhg	c0
2450501	4	II	50	60	10	nHw		h7				feu4		koh	og	Hnb	c0
2450502	1	I	0	20	20	orFa	2,5Y3/2	h7				feu3		kru	fl	Fhg	c0
2450502	2	I	20	37	17	orFa	5Y4/1	h7	es	f3		feu3		mip	fl	Fhg	c0
2450502	3	I	37	45	8	orFt	5Y3/2	h7	es	f3		feu5		mep	fl	Fhg	c0
2450502	4	II	45	60	15	orFw	5Y4/3	h7				feu6		mep	fl	Fhg	c0
2450503	1	I	0	25	25	orFa		h7				feu2		kru	fl	Fhg	c0
2450503	2	I	25	40	15	orFa		h7	eh		es	feu2		mip	fl	Fhg	c0
2450503	3	I	40	60	20	orFt		h7	eh			feu3		mep	fl	Fhg	c0
2450503	4	II	60	80	20	nHw		h7	es			feu4		koh	og	Hnb	c0
2450504	1	I	0	14	14	reAap	7,5YR 3/2 (d-bn)	h3				feu3	Vf1	sub	fl	Fmk	c6
2450504	2	II	14	30	16	e(Sw-) reF-Go	2,5Y 7/2 (h-gr)	h1	ed	f4	eh	feu4	Vf3	pol	fl	Fmk	c6
2450504	3	II	30	46	16	erFr-Sd-Go	2,5Y 7/2	h1	ed	f4	eh	feu4	Vf4 (but-	pol	fl	Fmk	c6
2450504	4	II	46	60	14	II erFr-Gro	2,5Y 5/3 (h-olive-bn)	h1	ed	f4	eh	feu4	Vf4	pol	fl	Fmk	c4
2450504	5	II	60	250	190	II erFr-Gro	2,5Y 5/3 (h-olive-bn)	h1	ed	f4	eh	feu4	Vf4	pol	fl	Fmk	c4
2450505	1	I	0	17	17	reAap		h3	-			feu4		sub	fl	Fmk	c6
2450505	2	I	17	25	8	eSd-Go	2,5Y 6/2(h-bnl-gr)	h1	ed	f3	eh	feu4		pol	fl	Fmk	c6
2450506	1	I	0	25	25	reAp	10YR 4/2 d-grl-bn	h3	-			feu2	Vf1	sub	fl	Fmk	c5
2450506	2	II	25	40	15	eGo	2,5Y 7/2 h-gr	h1	eh,fl,gre3,unz, f3			feu3	Vf4	pol	fl	Fmk	c5
2450506	3	II	40	53	13	II eGo	10YR 5/6 gel-bn	h0	-			feu4	Vf1	ein	pky	SI2	c5
2450506	4	II	53	60	7	III eGor	2,5Y 5/3 h-olive-bn	h1	ed, entlang der org. Reste, gre2, f2 (Lab fl, f1)			feu4	Vf3	koh	fg	SI3	c5
2450506	5	II	60	70	10	III eGr	2,5Y 5/3 h-olive-bn	h1	ed, entlang der org. Reste, gre2, f2 (Lab fl, f1)			feu4	Vf3	koh	fg	SI3	c5
2450507	1	I	0	20	20	reAap	10YR 3/3 (d-bn)	h3	-			feu4	Vf2	sub	fl	Fmk	c5
2450507	2	II	20	25	5	reAap+reF	5Y 6/2 (pinkl-gr)	h1	eh	gre2		feu4	Vf3	pol	fl	Fmk	c5
2450507	3	II	25	60	35	IIeGo	10YR 4/2 (d-grl-bn)	h1	die hell-grauen Flecken gre2, schichtungsorientiert ? ed, fl, f1			feu4	Vf4	pol	fl	Fmk	c5
2450508	1	I	0	20	20	reAap	10YR 4/3 (bn)	h3	-			feu3	Vf1	sub	fl	Fmk	c5
2450508	2	I	20	28	8	eGo	2,5Y 7/3(h-ge)	h1	ed,ad+w,f5, g4 (Lab: eh>20%)			feu3	Vf4	pol	fl	Fmk	c5
2450508	3	I	28	43	15	IIeGo	2,5Y 6/3(h-gel-bn)	h1	eh,ad,f5, g2 ed, fl, f2, g2			feu3	Vf4	pol	fl	Fmk	c5
2450508	4	II	43	47	4	IIIeGo	2,5Y 7/3(h-ge)	h1	ed+eh, ad+w, f5, g4, gre1-2			feu3		koh	fl	Fmk	c6
2450508	5	III	47	120	73	IVeGro	2,5Y 5/3(h-olive-bn)	h1	eh, fl, f2, g2; ed, fl, f4, g3			feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450508	6	III	120	170	50	eGr	2,5Y 4/2(d-grl-bn)	h0	Sw. Konkretionen, H2S			feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450509	1	I	0	20	20	reF + Aap	10YR 3/2(Lab 3/3)	h3				feu2	Vf1	pol	fl	Fmk	c5

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestrom	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450509	2	I	20	35	15	eSd-rFr-Go	10YR 5/2 grl-bn	h1	ed, w, f4, gre3 2,5 YR 3/6 (d-rt), Reduktionsflecken gre4 f5			feu2	Vf14	pol	fl	Fmk	c5
2450509	3	I	35	40	5	II erFr-Gor	2,5Y 4/2 d-grl-bn,	h1	ed, w, f3, gre2 2,5 YR 3/6 (d-rt)			feu3	Vf14	kru	fl	Fmk	c5
2450510	1	I	0	20	20	reAap	10YR 4/3	h3				feu2	Vf1	sub	fl	Fmk	c6
2450510	2	I	20	120	100	eGo	2,5Y 7/2 (h-gr)	h1	eh (10YR 5/8 bis 6/6), roe g2, gre3, f4		ed, w, gre1,f2	feu4	Vf3	pol	fl	Fmk	c6
2450510	3	II	120	180	60	II Gr		h0				feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450510	4	II	180	300	120	II Gr		h0				feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450511	1	I	0	23	23	eGo-Aa	10YR 3/2	h3	-			feu4	Vf1	koh	fl	Fmk	c6
2450511	2	I	23	60	37	erFr-Gro	2,5Y 7/1	h0	ed, w, f3, g5 7,5YR 5/8 Blaufärbung auf Foto			feu5	Vf2		fl	Fmk	c6
2450511	3	I	60	120	60	II Gr		h0				feu6			fl	Fmk	
2450511	4	I	120	150	30	II Gr		h0				feu6			fl	Fmk	
2450511	5	I	150	250	100	II Gr		h0				feu6			fl	Fmk	
2450512	1	I	0	18	18	eGo-eAa	10YR 3/1	h4	-			feu5	Vf1	kru	fl	Fmk	c6
2450512	2	I	18	50	32	erFr-Gor	2,5Y 8/1	h0	eh f1 7,5YR 5/8			feu5	Vf1	pol	fl	Fmk	c6
2450512	3	II	50	130	80	II Gr	5Y 5/2	h0	-			feu6		koh	fl	Fmk	c5
2450512	4	II	130	250	120	III Gr	2,5Y 5/3	h0	-			feu6		koh	fl	Fmk	c5
2450513	1	I	0	11	11	reAap	10 YR 3/2	h3	-			feu3	locker	sub	fl	Fmk	c5
2450513	2	II	11	23	12	erFr-Go	2,5YR 5/3	h0	eh, gre2, f5, fl + w + ad			feu3	bröckelig, fester	sub	fl	Fmk	c6
2450513	3	II	23	30	7	erFr-Go-Sd	2,5YR 6/3	h0	eh, gre2, f3, fl + w + ad			feu4	fest	sci	fl	Fmk	c6
2450513	4	III	30	50	20	II erFr-Gro	2,5YR 5/3	h0	eh, fl, f2, gre2, w			feu4	gummiar- tig	sci	fl	Fmk	c5
2450513	5	III	50	100	50	II eGr	2,5YR 6/2	h0	eh, f1, entlang der Spalten			feu4	gummiar- tig	sci	fl	Fmk	c5
2450514	1	I	0	5	5	nHv	10YR21	h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450514	2	II	5	10	5	erFa	10YR32	h7				feu2		pol	og	Ha	c0
2450514	3	II	10	29	19	erFt	10YR72	h1	eh	f5		feu3		pol	fl	Fmk	c4
2450514	4	II	29	43	14	erFw	10YR62	h1	eh	f6		feu4		koh	fl	Fmk	c4
2450514	5	II	43	63	20	erFw	2,5YR41	h1	eh	f4		feu5		koh	fl	Fmk	c4
2450514	6	II	63	82	19	erFr	2,5Y(R?)41	h1	eh	f4		feu6		koh	fl	Fmk	c4
2450514	7	III	82	100	18	nHr	G1/52	h1	eh	f3		feu6		koh	fl	Fmk	c4
2450515	1	I	0	3	3	nHv+erFa	10YR42	h4				feu2		kru	fl	Fmk	c4
2450515	2	II	3	20	17	erFv	2,5YR72	h1	eh	f3		feu2		sub	fl	Fmk	c4
2450515	3	II	20	38	18	erFw	2,5YR81	h1	eh	f5		feu3		pol	fl	Fmk	c4
2450515	4	II	38	52	14	erFw	2,5YR71	h1	eh	f5		feu3		koh	fl	Fmk	c4
2450515	5	II	52	86	34	erFr	2,5YR62	h1	eh	f2		feu5		koh	fl	Fmk	c4
2450515	6	II	86	100	14	erFr	5Y41	h1				feu6		koh	fl	Fmk	c4
2450516	1	I	0	24	24	erFa+nHv	10YR42	h7	eh	f3		feu3		kru	og	Ha	c1

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestufe	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450516	2	II	24	33	9	erFw	2.5Y81	h2	eh	f5		feu3		koh	fl	Fmk	c5
2450516	3	III	33	35	2	erFw		h2	eh	f6		feu3		ein	fl	Fmk	c5
2450516	4	IV	35	50	15	erFw	2.5Y62	h2	eh	f4		feu4		ein	fl	Fms	c2
2450516	5	V	50	51	1	erFw		h2	eh	f6		feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450516	6	V	51	100	49	erFr	2.5Y81	h1	eh	f3		feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450517	1	I	0	30	30	erFa+Hap	10YR31	h7				feu2		kru	og	Ha	c3
2450517	2	I	30	40	10	Hap+erFa	2.5Y41	h7				feu2		sub	fl	Fmk	c4
2450517	3	I	40	42	2	Ha+erFa	2.5Y51	h7				feu2		sub	fl	Fmk	c4
2450517	4	II	42	50	8	erFw	2.5Y61	h2				feu2		koh	fl	Fmk	c5
2450517	5	III	50	52	2	nHw	10YR31	h7				feu3		koh	og	Hnr	c1
2450517	6	IV	52	67	15	erFw	5Y61	h2				feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450517	7	IV	67	80	13	erFw	5Y71	h2	eh	f6		feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450517	8	V	80	120	40	Go	5Y71	h1	eh	f6		feu5		ein	fl	s	c0
2450518	1	I	0	12	12	nHm	braun	h7	eh	f2		feu2	Ko2	kru	og	Ha	c1
2450518	2	II	12	29	17	nHa	schwarz	h7	eh	f2		feu2	Ko2	klu	og	Ha	c1
2450518	3	III	29	33	4	nHt	braun	h7	eh	f2		feu4	Ko3	koh	og	Hnr	c2
2450518	4	IV	33	54	21	orFa	grau	h7	eh	f4	ed	feu4	Ko3	mep	og	Fhg	c2
2450518	5	IV	54	83	29	orFt	schwarzgrau	h7				feu4	Ko4	koh	og	Fhg	c2
2450519	1	I	0	20	20	nHm	schwarzbraun	h7				feu2		kru	og	Ha	c3
2450519	2	II	20	45	25	erFt	beige	h2	eh			feu3		koh	fl	Fmk	c5
2450519	3	II	45	70	25	erFr	beige	h2				feu3		koh	fl	Fmk	c5
2450520	1	I	0	20	20	Ap	schwarzbraun	h7				feu2		kru	og	Ha	c3
2450520	2	II	20	35	15	Ap	schwarzbraun	h7	eh			feu2		sub	og	Ha	c5
2450520	3	III	35	45	10	erFa	beige	h2	eh	f5		feu3		koh	fl	Fmk	c5
2450520	4	IV	45	47	2	nHw	schwarzbraun	h7				feu4		koh	og	Hnr	c2
2450520	5	V	47	70	23	erFr	graubeige	h4	eh	f2		feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450522	1	I	0	19	19	nHa	hellbraun	h7	eh	f2		feu3		kru	og	Ha	c1
2450522	2	II	19	27	8	erFa	graubraun	h4	ed	f4		feu3		sub	fl	Fmk	c3
2450522	3	II	27	65	38	erFt	graubraun	h3	ed	f5		feu4		koh	fl	Fmk	c5
2450522	4	III	65	80	15	Hnw	schwarzbraun	h7				feu6		koh	og	Hnp	c0
2450523	1	I	0	20	20	erFv	hellbraun	h4	ed	f2		feu3		kru	fl	Fmk	c1
2450523	2	II	20	40	20	erFa	graubraun	h3	ed	f4		feu3		sub	fl	Fmk	c3
2450523	3	II	40	55	15	erFt	braun	h3	ed	f1		feu4		koh	fl	Fmk	c4
2450523	4	II	55	63	8	erFw	graubraun	h3	ed	f4		feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450523	5	III	63	80	17	erFw	schwarzbraun	h5	ed	f2		feu6		koh	fl	Fmk	c1
2450528	1	I	0	3	3	nHvp		h7	ed			feu2		kru	og	Ha	c0
2450528	2	II	3	15	12	orFa		h7	eh		es	feu2		mip	fl	Fhg	c0
2450528	3	III	15	32	17	orFt		h7	eh		es	feu3		mep	fl	Fhg	c0
2450528	4	IV	32	48	16	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnr	c0
2450528	5	V	48	70	22	lirFr		h5				feu6	Ko4	koh	fl	Fmt	c3
2450528	6	V	70	80	10	llirFr		h4				feu6	Ko4	koh	fl	Fmt	c3
2450529	1	I	0	10	10	nHvp		h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450529	2	II	10	20	10	orFa		h7	eh		es	feu4		mip	fl	Fhg	c0
2450529	3	II	20	35	15	orFt		h7	eh		es	feu6		mep	fl	Fhg	c0
2450529	4	III	35	57	22	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnr	c0
2450530	1	I	0	10	10	Ah-M		h5						kru	oj	as	c0
2450530	2	II	10	30	20	M		h2						ein	oj	as	c0
2450530	3	III	30	40	10	orFa		h7						koh	fl	Fhg	c0
2450531	1	I	0	12	12	nHvp		h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450531	2	II	12	20	8	orFa		h7				feu2	Ko2	mip	fl	Fhg	c0
2450531	3	II	20	35	15	orFt		h7				feu4	Ko3	mep	fl	Fhg	c0

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestufe	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450531	4	III	35	60	25	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnb	c0
2450532	1	I	0	10	10	nHvp		h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450532	2	II	10	23	13	orFa		h7				feu2		mip	fi	Fhg	c0
2450532	3	II	23	32	9	orFt		h7				feu4		mep	fi	Fhg	c0
2450532	4	III	32	50	18	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnb	c0
2450533	1	I	0	6	6	nHvp		h7				feu3		kru	og	Ha	c0
2450533	2	II	6	21	15	orFa		h7				feu3	Ko2	mip	fi	Fhg	c0
2450533	3	II	21	39	18	orFt		h7				feu4	Ko3	mep	fi	Fhg	c0
2450533	4	III	39	50	11	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnb	c0
2450534	1	I	0	11	11	nHvp		h7	ed			feu2		kru	og	Ha	c0
2450534	2	II	11	24	13	orFa		h7	eh			feu2	Ko2	mip	fi	Fhg	c0
2450534	3	II	24	39	15	orFt		h7	eh			feu3	Ko3	mep	fi	Fhg	c0
2450534	4	III	39	58	19	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnb	c0
2450535	1	I	0	12	12	nHvp		h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450535	2	II	12	25	13	orFa		h7				feu3		mip	fi	Fhg	c0
2450535	3	II	25	45	20	orFt		h7				feu6		mep	fi	Fhg	c0
2450535	4	III	45	60	15	nHw		h7				feu6		koh	og	Hnb	c0
2450536	1	I	0	10	10	Ah-M		h6	ed	f2		feu3		kru	oj	cls	c3.2
2450536	2	II	10	27	17	orFa		h7	eh	f3		feu3		mip	fi	Fhg	c0
2450536	3	II	27	45	18	orFt		h7	eh	f3	es	feu5		mep	fi	Fhg	c0
2450536	4	III	45	60	15	nHw		h7				feu6		koh	og	Fhg	c0
2450537	1	I	0	10	10	nHvp		h7				feu5		kru	og	Ha	c3
2450537	2	II	10	14	4	eSd		h6				feu2	Ko2	koh	oj	cls	c3.4
2450537	3	III	14	17	3	nHa		h7				feu6	Ko3	koh	og	Ha	c2
2450537	4	IV	17	19	2	orFa		h7	eh	f3		feu6	Ko3	mip	fi	Fhg	c0
2450537	5	IV	19	30	11	orFa		h7	eh	f3		feu6		mip	fi	Fhg	c0
2450538	1	I	0	40	40	Ah-M		h5				feu2			oj	cls	c3.4
2450538	2	II	40	60	20	orFa		h7				feu3			fi	Fhg	c0
2450538	3	III	60	80	20	Go		h1				feu2			fg	s	c0
2450539	1	I	0	32	32	nHa	schwarzbraun	h7				feu2		sub	og	Ha	c3
2450539	2	II	32	50	18	erFt	beige	h2	eh	f3	eh	feu6	ko6	sub	fi	Fmk	c4
2450540	1	I	0	50	50	nHa	schwarzbraun	h7				feu3		sub	og	Ha	c2
2450540	2	II	50	60	10	erFa	beige	h2				feu5		koh	fi	Fmk	c4
2450540	3	III	60	70	10	Go	grau	h0				feu6		ein	fi	s	c0
2450541	1	I	0	20	20	Ap	schwarz	h7				feu3		kru	og	Ha	c1
2450541	2	I	20	35	15	nHt	schwarz	h7				feu3		bro	og	Ha	c1
2450541	3	II	35	57	22	erFw	weiß	h2	ed	f2		feu3		koh	fi	Fmk	c5
2450541	4	II	57	80	23	rFw-Sw	hellbraun	h2	ed	f3		feu4		koh	fi	Fmk	c5
2450541	5	II	80	90	10	erFw-Sw2	rotbraun	h2	ed	f5		feu5		koh	fi	Fmk	c5
2450541	6	III	90	110	20	erFr-Sd	ocker	h2	ed	f3		feu5		koh	fi	Fmt	c3
2450541	7	III	110	120	10	erFr	ockergrau	h2				feu6		koh	fi	Fmt	c3
2450541	8	IV	120	130	10	Gr	grau	h2				feu6		koh	fi	s	c0
2450542	1	I	0	25	25	Ap	schwarz	h7	ed	f2		feu3		kru	og	Ha	c2
2450542	2	I	25	38	13	nHt	schwarz	h7	ed	f3		feu3		bro	og	Ha	c2
2450542	3	II	38	60	22	erFa	beige	h7	ed	f3		feu4		koh	fi	Fmk	c2
2450542	4	III	60	70	10	erFw	beige	h2	ed	f3		feu4		koh	fi	Fmk	c5
2450542	5	III	70	90	20	erFw	beige	h2	ed	f3		feu5		koh	fi	Fmk	c5
2450542	6	III	90	110	20	erFr	beige	h2				feu5		koh	fi	Fmk	c5
2450542	7	III	110	130	20	erFr	beige	h2				feu6		koh	fi	Fmk	c5
2450543	1	I	0	10	10	nHm	schwarz	h7				feu3		kru	og	Ha	
2450543	2	I	10	24	14	nHa	schwarz	h7				feu3		sub	og	Ha	

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestufe	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450543	3	II	24	38	14	orFa	grau	h7				feu4		mip	fi	Fhg	
2450543	4	II	38	43	5	orFr	grau	h7				feu4		mep	fi	Fhg	
2450543	5	II	43	60	17	orFw	graubraun	h7				feu6		koh	fi	Fhg	
2450544	1	I	0	22	22	Aa	grauschwarz	h6				feu3		kru	og	Ha	
2450544	2	II	22	28	6	nHa	schwarz	h7				feu3			og	Ha	
2450544	3	II	28	30	2	nHw	braun	h7				feu3			og	Hnr	
2450544	4	III	30	60	30	orFa	braun	h7	eh			feu3			fi	Fhg	
2450544	5	III	60	70	10	orFw	graubraun	h7				feu5			fi	Fhg	
2450545	1	I	0	11	11	Ah	schwarzbraun	h5				feu3			u	s	
2450545	2	II	11	29	18	nHa	schwarz	h7				feu3			og	Ha	
2450545	3	II	29	44	15	nHw	braun	h7				feu3			og	Hnb	
2450545	4	II	44	59	15	orFa	braun	h7				feu4			fi	Fhg	
2450545	5	III	59	84	25	orFw	braun	h7				feu5			fi	Fhg	
2450545	6	III	84	100	16	orFr	braun	h7				feu6			fi	Fhg	
2450545	7	III	100	200	100	orFr	braun	h7				feu6			fi	Fhg	
2450545	8	IV	200	300	100	rFmt	grau	h1					koh		fi	Fmt	
2450545	9	IV	300	400	100	erFmt	grau	h1					koh		fi	Fmt	
2450546	1	I	0	8	8	Aa	schwarz	h7				feu3			u	s	
2450546	2	II	8	19	11	nHa	schwarz	h7				feu3			og	Ha	
2450546	3	II	19	22	3	nHw	schwarzbraun	h7				feu4			og	Hnb	
2450546	4	III	22	40	18	orFa	graugrün	h7				feu5			fi	Fhg	
2450546	5	III	40	55	15	orFw	graugrün	h7				feu6			fi	Fhg	
2450546	6	III	55	80	25	orFr	graugrün	h7				feu6			fi	Fhg	
2450546	7	III	80	260	180	orFr	graugrün	h7				feu6			fi	Fhg	
2450546	8	IV	260	350	90	irFr	graugrün	h1				feu6			fi	Fmt	
2450547	1	I	0	5	5	orFv	braunschwarz	h7				feu4			fi	Fhg	
2450547	2	II	5	13	8	orFa	braun	h7				feu4			fi	Fhg	
2450547	3	II	13	15	2	orFa	graubraun	h7				feu4			fi	Fhg	
2450547	4	II	15	32	17	orFt	graubraun	h7				feu5			fi	Fhg	
2450547	5	II	32	52	20	orFw	graubraun	h7				feu6			fi	Fhg	
2450547	6	II	52	70	18	orFr											
2450547	7	II	70	100	30	orFr											
2450548	1	I	0	15	15	nHw		h7						koh	og	Hnr	c2
2450548	2	II	15	50	35	erFr		h3	eh	f3				koh	fi	Fmk	c5
2450554	1	I	0	30	30	Ap	10YR3/3	h6	eh	f1		feu3		kru	fi	Fmi	c0
2450554	2	II	30	45	15	rF-Go	10YR6/2	h6	eh	f2		feu2		pol	fi	Fmi	c0
2450554	3	III	45	63	18	rFo	10YR2/2	h6	eh	f3	es	feu5		pol	og	Fhg	c0
2450554	4	IV	63	100	37	nHr	schwarz	h7				feu6		koh	og	Hn	c0
2450555	1	I	0	26	26	Ap	7.5YR4/2	h6	ed	f1	eh	feu3		kru	fi	Fmi	c0
2450555	2	II	26	44	18	rF-Go	10YR5/1	h6	ed	f3	eh	feu2		pol	fi	Fmi	c0
2450555	3	II	44	58	14	rF-Gr	Gley15/1	h6				feu4		pol	fi	Fmi	c0
2450555	4	III	58	70	12	nHr-rFr	schwarz	h7				feu6		koh	og	Fhg	c0
2450555	5	IV	70	110	40	nHr	schwarz	h7				feu6		koh	og	Hn	c0
2450556	1	I	0	15	15	rAp	7.5YR4/3	h6	eh	f1		feu3		kru	fi	Fmi	c0
2450556	2	II	15	26	11	rF-Go1	5YR4/1	h6	eh	f3		feu2		pol	fi	Fmi	c0
2450556	3	II	26	46	20	rF-Go2	Gley15/1	h6	eh	f4		feu2		pol	fi	Fmi	c0
2450556	4	II	46	58	12	rF-Gro	Gley15/1	h6	eh	f1		feu3		pol	fi	Fmi	c0
2450556	5	III	58	70	12	nHr	schwarz	h7				feu5		koh	fi	Fmi	c0
2450521	1	I	0	5	5	nHm	braunschwarz	h7				feu2		kru	og	Ha	c2
2450521	2	I	5	20	15	nHa	schwarz	h7				feu2		pol	og	Ha	c2
2450521	3	I	20	22	2	nHa	graubraun	h7	eh	f1		feu3		pol	og	Ha	c2

Profil- nummer	Horizont- nummer	Schicht- nummer	Obertie- fe	Unter- tiefe	Mäch- tigkeit	Horizont	Farbe	Humus- gehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydro- morphie	Feuchte	Konsis- tenz	Gefüge- form	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2450521	4	II	22	65	43	erFa	beigegrau		eh	f3		feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450521	5	II	65	85	20	erFw	beigegrau		eh	f2		feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450521	6	II	85	100	15	erFr	beigerosagrau		es	f2		feu6		koh	fl	Fmk	c5
2450558	1	I	0	5	5	nHm	braunschwarz	h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450558	2	I	5	20	15	nHa	braunschwarz	h7				feu2		kru	og	Ha	c0
2450558	3	II	20	35	15	eorFa	schwarz	h7				feu4		koh	og	Fhg	c2
2450558	4	III	35	63	28	erFw	beigegrau		eh	f3		feu5		koh	fl	Fmk	c5
2450558	5	III	63	85	22	erFr	beigegrau					feu6		koh	fl	Fmk	c5
2450559	1	I	0	10	10	nHm		h7				feu2		ein	og	Hn	c0
2450559	2	I	10	18	8	nHa		h7				feu2		pol	og	Hn	c0
2450559	3	I	18	25	7	nHt		h7				feu3		pri	og	Hn	
2450559	4	II	25	30	5	orFa		h3				feu3		mep	og	Fhg	c0
2450559	5	III	30	40	10	erFa		h3	ed	f4		feu4		pol	fl	Fmk	c4
2450559	6	III	40	50	10	erFw		h3	ed	f3		feu4		pol	fl	Fmk	c4
2450560	1	I	0	30	30	erFa+Ap	2.5Y2.5/1	h7	eh	f3		feu2		sub	og	Ha	c5
2450560	2	II	30	40	10	erFt	5Y6/1	h2	eh	f5		feu3		koh	fl	Fmk	c2
2450560	3	III	40	100	60	Go	2.5Y7/2	h1	eh	f8		feu4		ein	fl	s	c0
2450561	1	I	0	20	20	erFa+M	10YR6/2	h2	eh	f3		feu2		sub	u	Fmk	c4
2450561	2	II	20	25	5	Ha+erFa	10YR3/2	h7	eh	f3		feu3		sub	fl	Fmk	c4
2450561	3	III	25	60	35	erFt	10YR5/2	h3	eh	f6		feu4		sub	fl	Fmk	c4
2450561	4	III	60	78	18	erFw	2.5Y6/2	h1	eh	f5		feu4		koh	fl	Fmk	c4
2450561	5	III	78	90	12	erFw	2.5Y6/2	h1	eh	f4		feu5		koh	fl	Fmk	c4
2450561	6	III	90	120	30	erFr	5Y6/2	h1				feu6		koh	fl	Fmk	c4
2450562	1	I	0	20	20	erFw+nHw	braun	h7				feu6		koh	og	Hnr	c4
2450562	2	II	20	70	50	erFr	grau	h3				feu6		koh	fl	Fmk	c4
2450563	1	I	0	33	33	Ap	7.5YR4/2	h6	eh	f2		feu3		kru	fl	Fmi	c0
2450563	2	II	33	58	25	rF-Go1	10YR6/2	h6	eh	f2		feu2		pol	fl	Fmi	c0
2450563	3	II	58	88	30	rF-Go2	10YR5/1	h6	eh	f3		feu3		pol	fl	Fmi	c0
2450563	4	III	88	120	32	nHr	schwarz	h7				feu6		pol	og	Hn	c0
2450564	1	I	0	35	35	rF	10YR3/2	h6	ed	f4		feu2		kit	og	Fhg	c0
2450564	2	II	35	55	20	rF-Go	7.5YR4/2	h6	eh	f1		feu3		pol	og	Fhg	c0
2450564	3	III	55	70	15	nHr-rFr	10YR2/1	h7				feu6		koh	og	Fhg	c0
2450565	1	I	0	25	25	rAp	7.5YR3/2	h6	eh			feu2		pol	fl	Fmi	c0
2450565	2	II	25	35	10	rF-Go	7.5YR5/2	h6	eh	f4	ed	feu2		pol	fl	Fmi	c0
2450565	3	III	35	52	17	nH-rFo	schwarz	h6				feu2		pol	og	Fhg	c0
2450565	4	IV	52	67	15	rFor	7.5YR3/1	h6	eh	f4		feu2		ris	og	Fhg	c0
2450565	5	V	67	90	23	rF-Gcr	Gley16/1	h6				feu3		koh	fl	Fmk	c3.3
2450566	1	I	0	30	30	rAp	7.5YR3/2	h6	eh	f1		feu2		kru	og	Fhg	c0
2450566	2	II	30	37	7	rFo1	schwarz	h6	eh	f1		feu6		pol	og	Fhg	c0
2450566	3	II	37	52	15	rFo2	7.5YR3/2	h6	eh	f1		feu4		koh	og	Fhg	c0
2450566	4	III	52	70	18	rF-Gcro	Gley16/1	h6	eh	f1		feu3		koh	fl	Fmk	c3.3
2450567	1	I	0	35	35	rFo	10YR3/2	h6	ed	f1		feu3		pol	og	Fhg	c0
2450567	2	II	35	65	30	nH-rF	schwarz	h6				feu6		kru	og	Fhg	c0
2450567	3	III	65	90	25	rFr	5Y2.5/1	h6				feu5		koh	og	Fhg	c0
2410198	1		0	20	20	nHcmp											
2410198	2		20	55	35	erF+nHca1									fl	Fmk	
2410198	3		55	70	15	nHca2									fl	Fmk	
2410198	4		70	110	40	erF-Gr									fl	Fmk	
2410198	5		110	160	50	erF-Gr									fl	Fmk	
2410198	6		160	380	220	eGr											
2410198	7		380	400	20	eGr											

Anhang 2: Horizontkennzeichnung

Profil-nummer	Horizont-nummer	Schicht-nummer	Obertiefe	Untertiefe	Mächtigkeit	Horizont	Farbe	Humusgehalt	Hydromorphie	Fläche	Hydromorphie	Feuchte	Konsistenz	Gefügestufe	Substratgenese	Substrat	Karbonat
2420356	1	I	0	10	10	rFr-Go-Aa	10YR2/1	h5				feu3			og	Fhh	c0
2420356	2	I	10	40	30	rFr-Gho	5YR5/8	h4	eh	f3	ed	feu4			og	Fhh	c0
2420356	3	I	40	80	40	rFr-Ghro	7.5YR4/2	h4				N.B.			og	Fhh	c0
2420356	4	I	80	140	60	rFr-Ghr	7.5YR3/2	h4				feu5			og	Fhh	c0
2420356	5	II	140	180	40	rFr-Gr	7.5YR4/1	h4				feu6			fi	Fms	c0
2420356	6	III	180	200	20	Gr	7.5YR6/1	h1				feu6			pas	ss	c0

Anhang 3: Nachweisgrenzen

Parameter	Einheit	NWG ICP-OES	NWG RFA	0,5 NWG ICP	0,5 NWG RFA
CaO	%		<1		0,5
TS	%	<0,05		0,03	
Mg ²⁺	cmol/kg	<0,05		0,03	
Na ⁺	cmol/kg	<0,01		0,01	
K ⁺	cmol/kg	<0,05		0	
Al ³⁺	cmol/kg	<0,001		0	
Mn ²⁺	cmol/kg	<0,001		0	
TiO ₂	%		<0,001		0
Al ₂ O ₃	%		<0,01		0,01
K ₂ O	%		<0,005		0
P ₂ O ₅	%		<0,001		0
F	%		<0,03		0,02
Cl	%		<0,001		0
As	mg/kg		< 2		1
Ba	mg/kg				
Be	mg/kg	< 0,1		0,05	
Bi	mg/kg		< 5		2,5
Ce	mg/kg		< 20		10
Cd	mg/kg	< 0,2		0,1	
Co	mg/kg	< 0,2	< 4	0,1	2
Cr	mg/kg	< 0,5	< 3	0,25	1,5
Cs	mg/kg		< 16		8
Cu	mg/kg		< 10		5
Ga	mg/kg				
Hf	mg/kg		< 4		2
La	mg/kg		< 24		12
Mo	mg/kg	<1	< 3	0,5	1,5
Nb	mg/kg		< 2		1
Nd	mg/kg		< 28		14
Ni	mg/kg		< 3		1,5
Pb	mg/kg		< 5		2,5
PR	mg/kg		< 30		15
RB	mg/kg				
Sb	mg/kg		< 40		20
Sc	mg/kg		< 5		2,5
Sm	mg/kg		< 22		11
Sn	mg/kg	< 0,4	< 24	0,2	12
Sr	mg/kg				
Ta	mg/kg		< 5		2,5
Th	mg/kg		< 4		2
U	mg/kg		< 4		2
V	mg/kg		< 9		4,5
W	mg/kg		< 4		2
Y	mg/kg		< 2		1
Zn	mg/kg		< 2		1
Zr	mg/kg		< 2		1

Anhang 4: Standardparameter

Einheiten siehe Anhang 3

Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃	Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃
2450501	1	7,2	7,0	8,4	55,1	1,3	2450512	2	8,3	7,6	1,1	7,5	86,6
2450501	2	7,0	6,9	5,5	29,4	0,5	2450512	3	8,1	7,6	2,3	10,6	81,8
2450501	3	6,7	6,7	5,1	42,1	0,5	2450512	4	7,9	7,5	1,5	15,4	80,4
2450502	1	6,2	6,0	5,3	40,2		2450513	1	7,6	7,3	2,6	20,1	22,2
2450502	2	6,2	6,1	10,7	44,5		2450513	2	7,8	7,6	1,0	9,7	78,9
2450502	3	6,4	6,2	5,6	49,4	0,5	2450513	3	7,9	7,7	0,8	8,5	87,0
2450502	4	7,2	7,0	5,1	42,4	1,7	2450513	4	7,7	7,6	1,4	16,3	77,9
2450503	1	6,5	6,4	7,4	61,3	0,5	2450513	5	7,7	7,6	1,7	14,2	77,4
2450503	2	6,5	6,4	7,8	66,5	0,5	2450514	1	7,5	7,1	4,2	44,7	3,9
2450503	3	6,4	6,3	5,5	50,3	0,5	2450514	1		7,6		6,5	88,1
2450503	4	6,2	6,2	8,6	63,2		2450514	2		7,6		6,2	82,8
2450504	1	8,0	7,7	6,4	20,0	27,9	2450514	2	7,1	6,8	6,4	75,1	4,1
2450504	2	8,0	7,7	1,0	8,4	80,6	2450514	3	8,0	7,6	0,7	12,5	76,8
2450504	3	7,9	7,7	0,9	9,9	83,7	2450514	3		7,5		5,9	78,5
2450504	4	7,9	7,7	1,9	20,3	74,6	2450514	4	8,1	7,6	0,9	15,3	76,0
2450504	5	7,6	7,5	1,7	18,1	75,3	2450514	4		7,3		16,6	20,5
2450505	1	8,0	7,7	16,1	13,8	70,5	2450514	5	8,1	7,3	0,7	13,9	77,1
2450505	2	7,9	7,7	1,0	11,6	82,7	2450514	6	8,1	7,6	0,6	11,8	85,3
2450506	1	7,9	7,4	22,4	13,0	72,3	2450514	7	8,0	7,6	0,6	11,2	73,2
2450506	2	7,9	7,6	0,9	9,4	61,5	2450515	1	7,9	7,2	1,9	26,6	39,8
2450506	3	8,2	7,7	0,4	1,5	6,9	2450515	1		7,5		19,3	58,6
2450506	4	8,1	7,7	0,3	2,9	18,6	2450515	2		7,4		9,8	84,3
2450506	5	8,1	7,7	0,3	3,4	18,1	2450515	2	8,4	7,5	0,9	15,8	61,0
2450507	1	7,7	7,3	5,1	24,7	35,9	2450515	3		7,5		14,9	88,9
2450507	2	8,1	7,7	3,0	12,6	59,1	2450515	3	8,3	7,5	0,9	16,6	63,3
2450507	3	7,8	7,5	8,7	21,4	65,2	2450515	4	8,3	7,7	0,4	8,5	82,6
2450508	1	7,7	7,4	2,4	18,9	51,3	2450515	5	8,3	7,7	0,5	9,7	72,3
2450508	2	8,2	7,8	1,2	6,8	71,6	2450515	6	8,2	7,5	0,6	12,8	73,4
2450508	3	8,0	7,7	1,2	10,6	73,3	2450515	10	8,0	7,4	1,7	22,4	31,4
2450508	4	8,1	7,7	0,8	5,1	81,5	2450516	1	7,9	7,2	2,0	26,1	47,6
2450508	5	7,9	7,6	1,4	11,9	75,9	2450516	2	8,4	7,5	0,4	6,2	83,5
2450508	6	7,8	7,6	2,4	22,6	56,5	2450516	4	8,3	7,6	0,4	5,7	81,2
2450509	1	7,7	7,4	4,1	22,4	51,8	2450516	6	8,5	7,8	0,3	5,5	97,0
2450509	2	7,9	7,6	11,2	17,8	72,5	2450517	1	7,9	7,4	1,0	12,9	52,0
2450509	3	7,9	7,7	17,9	18,9	59,8	2450517	2	8,2	7,6	0,5	5,9	87,4
2450510	1	7,7	7,4	4,3	16,0	68,2	2450517	4	8,4	7,5	0,3	3,0	88,0
2450510	2	8,2	7,7	0,8	4,5	92,6	2450517	7	8,3	7,7	0,2	3,2	27,7
2450510	3	7,7	7,5	1,1	9,6	75,7	2450517	8	8,1	7,5	0,1	0,7	
2450510	4	7,4	7,3	1,1	9,7	11,0	2450518	1		7,3		52,8	2,9
2450511	1	7,7	7,4	2,8	19,4	62,0	2450518	2		7,0	11,4	63,8	1,5
2450511	2	8,2	7,7	1,8	4,8	86,5	2450518	3		6,7		83,6	0,4
2450511	3	8,2	7,7	1,0	5,4	87,3	2450518	4		7,2	4,3	27,5	45,3
2450511	4	7,9	7,6	1,0	9,2	84,0	2450518	5		7,3	2,4	13,3	64,8
2450511	5	8,0	7,6	1,8	15,6	78,5	2450519	1		7,1	5,2	29,1	21,3
2450512	1	7,8	7,5	8,2	20,7	67,3	2450519	2		7,7	1,0	7,0	81,0

Anhang 4: Standardparameter

Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃	Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃
2450519	3		7,5	0,7	4,2	88,8	2450534	2		6,1		43,3	0,0
2450520	1		7,4	4,3	23,0	37,5	2450534	3		6,0		54,1	0,0
2450520	2		7,4		28,3	38,6	2450534	4		6,1		73,6	0,1
2450520	3		7,5	0,6	8,8	83,3	2450535	1		5,5		44,9	0,3
2450520	4		7,6	1,1	7,1	83,5	2450535	2		5,7		63,6	0,3
2450521	1		7,1		75,4	1,5	2450535	3		6,1		52,4	0,2
2450521	2		6,9	13,7	70,6	3,2	2450535	4		6,0		59,8	0,2
2450521	3		7,2		70,6	3,8	2450536	1		7,2		24,9	3,5
2450521	4		7,6	1,4	12,4	83,8	2450536	2		6,5		66,3	0,3
2450521	5		7,6	1,5	13,2	79,9	2450536	3		6,3		54,6	0,2
2450521	6		7,3	1,3	11,4	81,3	2450537	1		7,0		33,5	6,1
2450522	1		7,3	3,7	24,3	15,7	2450537	2		7,3		15,2	7,5
2450522	2		7,3	3,6	27,6	43,6	2450537	3		7,5		5,9	17,4
2450522	3		7,5	2,4	21,4	72,8	2450537	4				60,3	0,2
2450522	4		6,6		85,3	0,6	2450537	5				70,6	0,5
2450523	1		7,4	3,4	22,8	39,4	2450538	1		7,2		14,5	2,3
2450523	2		7,6	1,7	15,0	77,8	2450538	2		6,8		51,6	0,5
2450523	3		7,5	2,4	24,8	62,7	2450539	1		7,4		36,5	10,8
2450523	4		7,5	1,8	17,8	80,7	2450539	2		7,8		10,1	87,2
2450523	5		7,2	4,2	34,5	40,9	2450540	1		7,4		21,2	16,4
2450524	6	6,3	5,8	3,1	2,0		2450540	2				7,8	61,8
2450524	7	6,2	5,5	3,7	11,8		2450541	3	8,2	7,8	0,6	6,6	92,0
2450525	1	6,7	6,3	6,8	40,6	1,0	2450541	4	8,1	7,7	0,4	5,8	84,2
2450526	2	5,9	5,2	4,0	11,9		2450541	5	8,0	7,8	0,6	5,0	46,5
2450526	8	6,1	5,4	3,6	9,7		2450541	6	7,8	7,8	0,7	4,6	34,5
2450527	1	5,6	4,8	3,8	15,5		2450541	7	7,8	5,1	0,3	2,1	14,4
2450528	1		6,0		59,7	0,2	2450542	2	8,1	7,8	1,0	10,9	89,0
2450528	2		6,2		43,0	0,1	2450542	4	8,2	7,8	0,6	7,9	82,5
2450528	3		5,7		87,0	0,2	2450542	5	8,3	7,8	0,3	3,8	97,3
2450529	1		5,8		57,3	0,4	2450542	6	8,3	7,8	0,3	3,7	89,1
2450529	2		5,7		56,6	0,4	2450542	7	8,2	7,8	0,4	5,8	91,6
2450529	3		6,3		40,5	0,3	2450543	1		6,3		68,6	0,2
2450529	4		5,6		85,0	0,4	2450543	2		7,1		84,6	6,5
2450530	1		6,5		49,8	0,5	2450543	3		6,6		54,6	2,9
2450531	1		5,7		49,7	0,3	2450544	1		6,1		28,3	0,4
2450531	2		6,2		57,6	0,3	2450544	2		6,0		90,0	0,4
2450531	3		6,3		49,7	0,3	2450544	3		7,1		85,0	6,8
2450531	4		6,9		74,8	7,8	2450545	1		6,4		45,5	0,1
2450532	1				57,9	0,3	2450545	2		6,9		50,1	0,6
2450532	2		5,5		62,0	0,1	2450545	3		5,9		90,0	0,3
2450532	3		6,1		56,3	0,1	2450545	4		6,3		87,8	0,1
2450532	4		6,2		85,0	0,3	2450545	5		5,6		87,1	0,4
2450533	1		6,3		52,3	0,3	2450545	6		6,2		83,2	0,4
2450533	2		6,3		64,0	0,3	2450545	7				42,5	1,5
2450533	3		6,5		54,2	0,2	2450545	8		7,1		9,8	3,0
2450533	4				91,8	0,3	2450545	9		7,5		4,6	14,2
2450534	1		5,9		50,8	0,2	2450546	1		6,1		51,0	0,3

Anhang 4: Standardparameter

Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃	Profilnr.	Hori- zont- nr.	pH (H ₂ O)	pH (CaCl ₂)	W105	GV550	Ca- CO ₃
2450546	2		6,5		81,9	0,1	2450561	4		7,6		14,3	
2450546	3		6,3		90,2	0,0	2450561	5		7,6		11,4	
2450546	4		5,9		74,1	0,0	2450561	6		7,7		10,2	
2450546	5		6,4		55,5	1,0	2450562	1		7,6		21,8	
2450546	6		7,4		9,3	10,0	2450562	2		7,6		7,6	
2450547	1				67,6	0,1	2450563	1		4,8		20,5	0,2
2450547	2		6,3		61,7	0,2	2450563	2		5,2		8,6	0,1
2450547	3		6,4		51,4	0,2	2450563	3		5,2		17,7	0,1
2450547	4		6,3		49,5	0,1	2450564	1		3,8		33,6	0,1
2450547	5		5,9		85,7	0,0	2450564	2		4,0		52,3	0,1
2450547	7				68,9	0,2	2450565	1		4,7		26,9	0,1
2450548	1		7,3		48,1	22,2	2450565	2		4,6		29,9	0,1
2450548	2		7,6		17,9	79,9	2450565	4		5,3		70,4	0,1
2450549	2	7,6	7,4	4,7	65,5	21,0	2450566	1		5,5		35,9	0,1
2450549	3	7,5	5,7	2,2	55,0	25,4	2450566	2		5,4		71,9	0,1
2450549	4	7,2	7,1	2,9	64,0	3,1	2450566	3		5,0		86,3	0,1
2450549	5	7,4	7,3	4,1	50,3	6,0	2450566	4		6,8		26,8	51,5
2450550	2	5,9	5,7	7,1	87,8		2450568	1		7,6		13,6	24,3
2450551	1	6,0	6,1	5,2	60,8		2450568	4		7,6		11,7	14,0
2450551	2	6,4	6,7	5,1	54,0		2450568	6		7,7		21,4	26,5
2450551	3	7,0	7,7	4,1	47,0	0,5	2450568	8		7,0		13,0	2,6
2450551	4	7,6	7,4	2,8	33,6	10,2	2450568			7,6		10,5	
2450552	5	8,2	7,7	0,6	9,3	96,8	2450569	2		7,7		8,9	28,5
2450552	6	8,4	7,7	0,5	8,0	89,0	2450569	3		7,5			36,5
2450552	7	8,4	7,8	0,4	7,1	93,6	2450569	4		7,5		9,6	9,7
2450553	3	8,4	7,7	0,5	7,1	91,1	2450569	5		7,5		9,1	5,0
2450553	4	8,3	7,8	0,4	7,9	95,0	2450570	1		7,0			15,1
2450553	5	8,4	7,7	0,5	8,8	98,1	2450570	1		7,2		18,9	13,3
2450553	6	8,2	7,6	0,3	5,7	90,5	2450570	2		7,6		12,9	1,6
2450554	1	6,0	4,2	2,7	20,3		2450570	2		7,6		8,2	14,4
2450554	2	4,9	3,8	2,2	25,5		2450570	3		7,3		8,9	12,5
2450554	3	4,3	5,3	4,8	51,1		2450570	3		7,6		14,3	47,1
2450555	1	6,1	5,3	2,6	18,2		2450570	4		7,2		8,4	1,8
2450555	2	6,0	4,4	2,4	14,3		2450572	1		6,9		11,6	36,1
2450555	3	5,0	4,8	2,4	26,5		2450572	2		7,6			56,6
2450556	1		4,8		23,5	0,1	2450572	3		7,5			40,3
2450556	3	5,4	4,8	2,3	24,1		2450572	4		7,2		7,3	59,2
2450556	4	5,6	4,9	2,3	17,6		2450572	5		7,7		12,4	42,5
2450556	5	5,6		2,5	21,5		2450572	6		7,6			45,1
2450558	1		7,0		72,9	0,5	2450572	8		7,5		4,7	50,3
2450558	2		7,1		72,6	0,6	2450574	1		7,5		7,2	86,0
2450558	3		7,3		54,5	22,4	2450574	2		7,6		3,6	39,2
2450558	4		7,5		11,6	94,5	2450574	3		7,5		0,8	1,2
2450558	5		7,5		9,3	93,5	2450574	4		7,5		14,9	56,7
2450560	1		7,4		16,1								
2450560	2		7,6		3,8								
2450561	1		7,4		13,9								
2450561	2		7,3		27,4								
2450561	3		7,4		17,8								

Anhang 5: Chemische Analytik: RFA

Einheiten siehe Anhang 3
Chemische Analytik RFA

Profilnr.	Hori- zont- nr.	TC	TN	TS	CN	Hg	LOI	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	F	Cl	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc	Sm	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
2450501	1	26,1	2,4	0,7	11,1	161,0	57,3	28,4	0,3	4,6	2,0	0,1	0,5	4,5	0,3	0,9	0,5	0,3	0,1	0,0	14	237	3	56	5	41,0	18,0	32	6	2	26	1,5	5	42	14,0	66,0	15	52	20	2,5	11	12	180	2,5	7	6	44	2	1	727	113
2450501	2	14,1	1,2	0,3	11,5	33,0	30,5	56,6	0,4	5,9	1,7	0,0	0,5	1,8	0,6	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	5	295	3	55	6	32,0	0,6	14	7	6	12	1,5	8	14	12,0	37,0	15	66	49	2,5	11	12	93	5,0	6	2	25	2	1	70	238
2450501	3	20,5	1,8	0,4	11,6	32,0	43,6	41,1	0,4	7,0	2,5	0,0	0,8	1,9	0,5	1,6	0,1	0,1	0,0	0,0	5	306	3	54	12	37,0	0,6	16	8	6	12	1,5	9	14	18,0	21,0	15	81	20	13,0	11	12	89	2,5	7	2	41	2	10	97	225
2450502	1	18,7	1,7	0,2	11,3	103,0	41,5	42,6	0,4	7,1	2,9	0,1	0,7	2,0	0,5	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	12	315	3	62	9	57,0	0,6	16	10	6	12	1,5	9	30	19,0	60,0	15	73	20	2,5	23	12	124	2,5	9	2	56	2	11	94	184
2450502	2	21,0	1,9	0,3	11,2	32,0	45,7	39,5	0,4	6,9	2,5	0,0	0,7	1,8	0,5	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0	7	275	3	37	8	34,0	0,6	14	9	6	24	1,5	6	29	19,0	27,0	15	73	20	9,0	11	27	83	2,5	16	2	39	2	11	89	184
2450502	3	24,7	2,2	0,3	11,4	23,0	50,7	34,8	0,4	6,4	2,4	0,0	0,7	2,2	0,4	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0	7	241	3	39	8	31,0	0,6	14	9	2	12	1,5	9	14	17,0	20,0	15	72	20	11,0	30	12	78	2,5	13	2	34	2	1	88	162
2450502	4	21,4	1,7	0,3	12,5	20,0	44,5	38,8	0,4	6,7	2,7	0,0	0,8	3,6	0,5	1,6	0,2	0,1	0,0	0,0	7	284	3	42	6	35,0	0,6	23	8	7	33	1,5	9	14	18,0	13,0	15	76	20	2,5	11	12	93	2,5	11	2	35	2	10	75	189
2450503	1	29,3	2,4	0,5	12,0	101,0	63,1	24,2	0,3	4,7	2,2	0,1	0,5	2,9	0,3	0,9	0,3	0,1	0,1	0,0	8	207	3	56	7	50,0	0,6	16	5	4	40	1,5	7	14	13,0	46,0	15	55	20	10,0	11	12	155	2,5	16	2	38	2	3	110	102
2450503	2	31,2	2,5	0,4	12,5	41,0	67,9	21,4	0,3	4,4	1,7	0,0	0,5	2,4	0,3	0,8	0,2	0,1	0,0	0,0	7	178	3	29	5	23,0	0,6	1	5	2	12	1,5	5	14	16,0	25,0	15	47	20	2,5	11	12	106	2,5	16	2	28	2	3	95	105
2450503	3	24,1	2,1	0,4	11,6	26,0	51,9	32,9	0,4	7,3	2,5	0,0	0,8	1,8	0,4	1,5	0,1	0,1	0,0	0,0	7	257	3	73	2	32,0	0,6	14	9	2	27	1,5	10	31	22,0	21,0	15	78	20	5,0	11	12	95	2,5	13	2	45	2	10	96	147
2450503	4	31,4	2,9	0,5	10,8	28,0	64,8	23,6	0,3	5,1	1,9	0,0	0,6	2,0	0,3	1,1	0,2	0,1	0,0	0,0	6	195	3	39	4	22,0	0,6	15	6	4	35	1,5	6	14	15,0	14,0	15	64	20	2,5	11	12	76	2,5	14	2	41	2	1	97	103
2450504	1	12,7	0,9	0,2	13,6	177,0	33,3	41,8	0,1	2,8	1,2	0,0	0,3	18,4	0,4	0,7	0,2	0,5	0,1	0,0	6	224	3	10	2	5,0	0,6	23	3	5	33	1,5	2	14	1,5	35,0	15	26	20	2,5	11	12	293	2,5	2	2	13	2	1	40	96
2450504	2	13,9	0,4	0,1	32,5	14,0	45,3	5,3	0,0	0,2	0,4	0,1	0,5	47,6	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	3	151	3	10	2	1,5	0,6	20	1	2	12	3,0	2	14	4,0	2,5	15	5	20	2,5	11	12	581	2,5	7	2	5	2	1	3	33
2450504	3	14,7	0,5	0,2	30,1	7,0	47,2	3,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,4	48,2	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	1	102	3	10	2	1,5	0,6	16	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	8	20	2,5	11	12	504	2,5	2	2	12	2	1	7	9
2450504	4	19,0	1,1	0,4	17,5	9,0	53,0	0,9	0,0	0,1	1,2	0,1	0,4	43,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,1	0,0	6	121	3	10	2	1,5	0,6	11	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	3	20	2,5	11	12	427	2,5	2	2	5	2	1	5	6
2450504	5	17,7	0,9	0,8	20,4	21,0	50,4	2,1	0,0	0,2	1,2	0,1	0,5	43,1	0,0	0,0	0,1	2,1	0,0	0,0	8	126	3	10	2	1,5	0,6	18	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	5	20	2,5	11	12	490	2,5	2	2	5	2	1	8	10
2450505	1	14,2	0,6	0,1	22,9	35,0	44,7	11,1	0,0	0,5	1,1	0,1	0,4	41,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	10	138	3	10	2	4,0	0,6	27	1	2	12	1,5	2	14	1,5	9,0	15	7	20	2,5	11	12	471	2,5	2	2	5	2	1	15	18
2450505	2	15,6	0,6	0,2	28,3	9,0	49,1	0,8	0,0	0,1	0,6	0,1	0,4	48,2	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,0	2	126	3	22	2	1,5	0,6	12	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	10	20	2,5	11	12	477	2,5	2	2	5	2	1	3	15
2450506	1	14,2	0,6	0,2	22,2	36,0	45,3	8,9	0,0	0,5	1,5	0,1	0,4	42,5	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	0,0	7	163	3	40	2	1,5	0,6	16	1	2	12	1,5	2	14	1,5	20,0	15	5	20	2,5	11	12	478	2,5	2	2	12	2	1	23	22
2450506	2	12,0	0,5	0,2	25,0	4,0	37,5	22,4	0,0	0,8	1,1	0,1	0,4	36,6	0,1	0,2	0,0	0,5	0,1	0,0	4	154	3	10	2	1,5	21,0	23	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	13	20	2,5	11	12	377	5,0	2	2	5	2	1	9	31
2450506	3	1,4	0,1	0,0	23,3	1,0	4,7	84,5	0,1	3,0	1,4	0,0	0,2	4,4	0,5	1,0	0,1	0,1	0,0	0,0	3	201	3	10	2	5,0	0,6	15	1	2	12	1,5	2	14	4,0	5,0	15	37	20	2,5	11	12	93	2,5	2	2	5	2	1	11	70
2450506	4	3,6	0,1	0,1	28,6	3,0	11,6	70,8	0,1	2,5	1,2	0,0	0,2	11,7	0,5	0,9	0,1	0,2	0,0	0,0	5	215	3	10	2	1,5	0,6	24	4	6	12	1,5	2	30	1,5	10,0	15	31	20	2,5	11	25	168	2,5	4	2	5	2	1	16	73
2450506	5	3,8	0,2	0,1	25,4	13,0	11,5	72,1	0,1	2,4	1,0	0,0	0,2	10,9	0,4	0,8	0,0	0,2	0,0	0,0	3	207	3	10	2	1,5	0,6	28	1	5	12	1,5	2	14	1,5	23,0	15	29	20	7,0	11	12	162	2,5	2	2	5	2	1	40	106
2450507	1	15,9	1,2	0,3	13,5	108,0	42,8	27,1	0,1	1,8	2,4	0,1	0,4	23,8	0,1	0,3	0,3	0,6	0,0	0,0	13	210	3	10	2	9,0	0,6	16	1	2	12	1,5	2	30	5,0	43,0	15	14	20	2,5	11	12	332	2,5	2	2	9	2	1	130	57
2450507	2	13,1	0,6	0,2	20,9	37,0	40,8	20,3	0,0	0,5	0,6	0,1	0,4	36,6	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	5	146	3	10	2	1,5	0,6	17	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	5	20	2,5	11	12	425	2,5	2	2	5	2	1	7	24
2450507	3	18,0	1,1	0,3	16,8	15,0	50,4	6,9	0,0	0,5	1,3	0,1	0,3	39,3	0,0	0,0	0,1	0,7	0,2	0,0	7	121	3	10	2	1,5	0,6	21	1	2	12	1,5	2	14	3,0	7,0	15	7	20	2,5	11	12	432	2,5	2	2	10	2	1	17	17
2450508	1	14,8	1,0	0,2	15,6	106,0	43,0	21,3	0,1	1,2	1,6	0,1	0,4	31,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1	0,0	14	138	3	10	6	20,0	0,6	27	1	2	12	1,5	2	46	5,0	22,0	15	10	20	2,5	11	12	369	2,5	2	2	17	2	1	47	49
2450508	2	11,2	0,3	0,1	38,0	26,0	38,9	17,4	0,0	0,5	1,3	0,1	0,4	40,8	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	10	136	3	10	2	1,5	0,6	23	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	9	20	2,5	11	12	471	2,5	2	2	5	2	1	7	19
2450508	3	13,9	0,5	0,1	26,3	11,0	44,2	9,9	0,0	0,5	0,8	0,1	0,5	43,5	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	6	151	3	10	2	1,5	0,6	25	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	8	20	2,5	11	12	539	2,5	2	2	5	2	1	8	36
2450508	4	12,0	0,2	0,1	50,2	4,0	41,9	9,8	0,0	0,2	0,3	0,1	0,4	46,9	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0	1	104	3	10	2	1,5	0,6	18	1	6	12	1,5	2	14	3,0	2,5	15	7	20	2,5	11	12	474	2,5	2	2	5	2	1		

Anhang 5: Chemische Analytik: RFA

Profilnr.	Hori- zont- nr.	TC	TN	TS	CN	Hg	LOI	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	F	Cl	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc	Sm	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
2450515	1	16,9	1,2	0,4	13,7	100,0	45,1	24,1	0,1	2,2	1,4	0,1	0,5	24,7	0,1	0,4	0,3	0,7	0,2	0,0	9	223	3	38	2	4,0	0,6	21	1	2	12	1,5	4	14	8,0	53,0	15	22	20	2,5	11	12	251	2,5	14	2	23	2	1	52	51
2450515	2	14,0	0,7	0,5	20,3	40,0	45,3	17,1	0,1	1,9	1,3	0,1	0,7	32,5	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1	0,0	7	244	3	21	2	7,0	0,6	10	3	2	12	1,5	2	14	4,0	8,0	15	18	20	6,0	11	12	334	7,0	12	2	17	2	1	14	28
2450515	3	16,5	0,8	0,2	21,1	22,0	48,8	7,2	0,0	0,3	0,5	0,1	0,7	41,6	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	0,0	7	194	3	28	2	1,5	0,6	23	1	2	12	3,0	2	14	1,5	9,0	15	9	55	2,5	11	12	485	5,0	14	2	5	2	1	1	1
2450515	4	14,1	0,4	0,2	35,7	14,0	45,9	3,4	0,0	0,0	0,3	0,1	1,1	48,6	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	1	245	3	10	2	1,5	0,6	11	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	10	20	2,5	11	12	625	2,5	13	2	9	2	1	1	1
2450515	5	14,6	0,4	0,3	34,7	12,0	57,0	2,6	0,0	0,0	0,3	0,1	0,7	38,7	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	2	178	3	10	2	1,5	0,6	15	1	2	12	1,5	2	14	1,5	6,0	15	7	20	2,5	11	12	426	2,5	2	5	2	1	1	1	1
2450515	6	16,3	0,7	0,4	22,6	50,0	48,9	1,2	0,0	0,1	0,7	0,1	0,8	47,1	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,0	3	226	3	10	2	1,5	0,6	11	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	6	20	2,5	11	12	463	2,5	4	2	5	2	1	3	1
2450515	10	12,9	1,1	0,2	12,1	71,0	36,2	34,6	0,2	4,6	3,0	0,1	0,7	18,4	0,3	0,8	0,2	0,6	0,1	0,0	7	309	3	10	5	20,0	0,6	19	7	2	12	1,5	5	14	15,0	43,0	15	44	20	2,5	11	12	209	2,5	14	2	46	2	1	37	76
2450516	1	17,9	1,2	0,3	15,0	71,0	48,4	14,8	0,1	2,5	2,0	0,1	0,6	29,8	0,1	0,4	0,2	0,6	0,1	0,0	7	224	3	10	2	9,0	0,6	17	3	2	12	1,5	4	14	6,0	24,0	15	23	53	2,5	11	12	307	2,5	13	2	18	2	1	32	48
2450516	2	13,4	0,2	0,2	55,9	10,0	45,4	2,8	0,0	0,3	0,4	0,1	0,8	49,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	5	202	3	24	2	1,5	0,6	14	1	2	12	1,5	2	14	1,5	6,0	15	11	20	2,5	11	12	517	2,5	16	2	5	2	1	3	3
2450516	4	12,5	0,2	0,2	67,1	9,0	42,1	8,8	0,0	0,6	0,3	0,1	1,0	46,4	0,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	3	221	3	25	2	1,5	0,6	16	1	2	12	1,5	2	14	1,5	10,0	15	16	20	2,5	11	12	602	2,5	10	2	14	2	1	1	34
2450516	6	13,5	0,2	0,1	79,7	7,0	45,4	1,0	0,0	0,2	0,3	0,1	1,3	51,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,0	4	241	3	10	2	1,5	24,0	19	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	9	20	2,5	11	12	680	2,5	2	2	5	2	1	3	9
2450517	1	13,0	0,6	0,1	22,9	41,0	38,1	25,2	0,1	1,0	2,0	0,1	0,3	32,1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	13	183	3	10	2	1,5	0,6	19	1	2	12	1,5	4	14	6,0	48,0	15	19	20	2,5	11	12	273	5,0	9	2	5	2	1	23	67
2450517	2	13,4	0,2	0,1	71,1	24,0	44,8	1,3	0,0	0,2	2,2	0,1	0,4	50,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	3	200	3	10	2	1,5	0,6	27	1	2	12	1,5	2	14	1,5	26,0	15	7	20	2,5	11	12	376	2,5	2	2	5	2	1	1	7
2450517	4	12,5	0,1	0,1	131,9	20,0	43,8	1,1	0,0	0,2	1,7	0,2	0,4	52,2	0,0	0,0	0,2	0,2	0,1	0,0	1	212	3	10	2	1,5	0,6	1	1	4	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	7	20	7,0	11	12	328	2,5	13	2	5	2	1	7	6
2450517	7	4,4	0,1	0,1	68,0	12,0	15,6	60,5	0,3	4,1	1,6	0,1	0,7	15,3	0,5	1,0	0,1	0,2	0,0	0,0	10	221	3	50	2	18,0	0,6	15	3	5	12	1,5	5	14	5,0	2,5	15	44	20	2,5	11	12	164	7,0	19	2	26	2	4	21	272
2450517	8	0,3	0,0	0,0	14,6	7,0	0,9	94,5	0,1	2,4	0,4	0,0	0,0	0,3	0,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	1	149	3	10	2	10,0	34,0	1	4	2	12	1,5	3	14	1,5	29,0	15	24	20	13,0	11	12	37	2,5	21	2	5	2	1	1	114
2450518	2	32,1	2,4	1,0	13,7	97,0	67,1	11,9	0,1	1,6	7,5	0,1	0,4	7,9	0,1	0,3	0,5	2,1	0,1		39	318	5	20	4	5,0	18,0	29	2	4	24	5,0	2	15,0	9,0		19	6,0		290	5,0	13	4	10	4	2	27	34			
2450518	4	19,3	1,2	0,5	15,8	48,0	48,3	19,5	0,1	0,9	1,7	0,1	0,4	27,5	0,1	0,2	0,2	1,0	0,0		5	134	5	20	4	3,0	16,0	20	2	4	24	3,0	2	3,0	11,0	14	5,0		365	5,0	8	4	14	4	2	13	19				
2450518	5	13,8	0,5	0,5	27,0	58,0	41,0	16,5	0,1	1,0	2,6	0,2	0,5	36,1	0,1	0,2	0,4	1,2	0,1		7	196	5	33	4	3,0	16,0	22	2	4	24	3,0	2	3,0	13,0	18	5,0		514	5,0	5	4	9	4	2	12	33				
2450519	1	16,7	1,3	0,3	12,9	174,0	38,7	34,2	0,2	4,2	4,9	0,2	0,6	14,2	0,3	1,0	0,6	0,6	0,0		24	476	5	20	6	18,0	16,0	36	4	4	37	3,0	5	18,0	30,0	42	7,0		361	5,0	9	4	53	4	2	89	119				
2450519	2	13,5	0,2	0,2	57,7	51,0	44,9	3,0	0,0	0,7	1,5	0,1	1,1	47,7	0,0	0,1	0,0	0,5	0,2		8	159	5	20	4	3,0	18,0	23	2	4	24	3,0	2	3,0	20,0		11	8,0		1082	5,0	4	4	9	4	2	4	14			
2450519	3	12,6	0,1	0,2	97,8	44,0	44,0	3,2	0,0	0,4	0,2	0,1	0,8	50,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1		3	238	5	20	4	3,0	23,0	15	2	4	24	3,0	2	3,0	6,0	11	5,0		891	5,0	4	4	9	4	2	3	10				
2450520	1	15,1	1,0	0,2	14,6	143,0	39,6	25,4	0,2	3,4	5,4	0,2	0,6	22,8	0,3	0,8	0,6	0,5	0,0		24	362	5	49	4	18,0	16,0	33	2	5	24	3,0	3	17,0	18,0	30	5,0		451	5,0	4	4	40	4	2	52	96				
2450520	3	13,4	0,3	0,2	52,7	42,0	44,9	2,9	0,0	0,4	3,0	0,1	0,4	47,6	0,1	0,1	0,2	0,3	0,0		25	223	5	20	4	3,0	16,0	19	2	4	24	3,0	2	3,0	5,0	5	5,0		627	5,0	4	4	12	4	2	3	6				
2450520	4	13,7	0,2	0,2	59,5	56,0	45,3	3,2	0,0	0,5	0,8	0,1	1,1	48,3	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1		3	158	5	20	4	3,0	16,0	37	2	4	24	3,0	2	3,0	5,0	10	5,0		942	5,0	5	4	9	4	2	6	15				
2450521	2	36,5	2,6	0,6	13,9	70,0	78,1	4,1	0,0	0,6	2,6	0,2	0,1	12,3	0,0	0,1	0,4	1,3	0,0		11	152	5	20	4	3,0	16,0	15	2	4	24	3,0	3	4,0	36,0	9	5,0		217	5,0	11	4	21	4	2	28	16				
2450521	4	16,3	0,4	0,3	39,3	41,0	50,1	0,2	0,0	0,1	0,4	0,1	0,6	47,6	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0		4	95	5	20	4	3,0	16,0	17	2	4	24	3,0	2	3,0	5,0	6	5,0		389	5,0	4	4	9	4	2	2	2				
2450521	5	16,4	0,4	0,5	37,9	48,0	50,1	0,2	0,0	0,1	0,4	0,1	0,6	47,2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1		2	118	5	22	4	3,0	16,0	17	2	4	24	3,0	2	3,0	5,0	8	5,0		389	5,0	4	4	9	4	2	2	8				
2450521	6	15,6	0,4	0,8	43,7	51,0	48,3	0,4	0,0	0,1	0,8	0,1	0,6	47,7	0,0	0,0	0,0	1,9	0,1		2	97	5	20	4	3,0	16,0	14	2	5	24	3,0	2	3,0	5,0	7	5,0		361	5,0	4	4	9	4	2	2	4				
2450522	1	13,9	1,2	0,2	11,5	110,0	32,8	48,0	0,2	2,7	2,3	0,1	0,4	11,8	0,4	0,7	0,2	0,3	0,1		6	245	5	20	4	12,0	16,0	12	3	4	24	3,0	4	3,0	27,0	26	5,0		171	5,0	9	4	19	4	2	37	132				
2450522	2	19,6	1,4	0,3	13,8	71,0	48,7	20,5	0,0	0,8	1,6	0,0	0,4	26,8	0,1	0,2	0,1	0,6	0,0		4	132	5	20	4	3,0	16,0	10	2	4	24	3,0	2	3,0	14,0	12	5,0		280	5,0	4	4	9	4	2	10	32				
2450522	3	19,4	1,0	0,3	19,0	48,0	53,0	1,6	0,0	0,2	2,5	0,1	0,5	41,4	0,0	0,0	0,1	0,5	0,2		2	134	5	20	4	3,0	16,0	1																							

Anhang 5: Chemische Analytik: RFA

Profilnr.	Hori- zont- nr.	TC	TN	TS	CN	Hg	LOI	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	SO3	F	Cl	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	La	Mo	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sb	Sc	Sm	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr
2450552	6	14,8	0,3	0,2	52,5	4,0	47,8	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	50,8	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	3	129	3	36	2	1,5	0,6	1	1	2	12	11,0	2	14	1,5	2,5	15	8	20	2,5	11	12	442	2,5	5	2	5	2	1	1	1
2450552	7	14,3	0,2	0,3	62,8	4,0	46,8	0,9	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	50,8	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	3	111	3	10	2	1,5	0,6	1	1	2	12	10,0	2	14	1,5	2,5	15	4	20	2,5	11	27	417	2,5	2	2	5	2	1	1	1
2450553	3	14,5	0,2	0,3	65,5	148,0	47,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,6	51,2	0,0	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	1	132	3	38	2	1,5	0,6	1	1	2	12	8,0	2	14	1,5	7,0	37	8	20	2,5	11	12	429	2,5	2	2	12	2	1	1	1
2450553	4	14,5	0,3	0,3	53,4	6,0	47,4	0,3	0,0	0,0	0,3	0,1	0,6	50,4	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1	0,0	1	83	3	34	2	1,5	25,0	1	1	2	12	11,0	2	14	1,5	2,5	15	7	20	2,5	11	12	349	2,5	2	2	5	2	1	2	4
2450553	5	14,8	0,3	0,4	49,0	9,0	47,4	0,5	0,0	0,0	0,4	0,1	0,6	49,8	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	1	110	3	10	2	1,5	0,6	14	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	5	20	12,0	11	12	365	2,5	7	2	12	2	1	1	3
2450553	6	13,7	0,2	0,4	60,9	7,0	45,2	1,6	0,0	0,0	0,5	0,1	0,6	51,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	3	114	3	20	2	1,5	0,6	1	1	2	12	15,0	2	14	1,5	2,5	15	7	20	2,5	11	37	406	2,5	2	2	5	2	1	1	5
2450554	1	9,2	0,7	0,2	13,3	190,0	23,7	65,2	0,1	2,7	6,2	0,1	0,2	0,6	0,1	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	26	262	3	10	5	29,0	0,6	16	3	2	12	1,5	3	42	11,0	37,0	15	21	20	5,0	25	12	29	2,5	11	2	47	2	1	59	86
2450554	2	12,4	0,9	0,3	13,4	95,0	29,0	67,0	0,1	1,3	1,9	0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	17	115	3	10	2	7,0	0,6	1	1	2	12	1,5	2	14	8,0	28,0	15	16	20	2,5	11	12	20	2,5	11	2	10	2	1	7	34
2450554	3	25,3	2,3	0,6	11,0	71,0	53,6	36,4	0,0	0,9	7,7	0,0	0,0	0,5	0,1	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	74	118	3	10	2	3,0	20,0	1	1	5	12	1,5	2	14	10,0	5,0	15	13	20	2,5	11	12	24	2,5	7	2	5	2	1	8	44
2450555	1	8,0	0,6	0,2	12,7	182,0	21,5	66,5	0,2	3,0	6,3	0,1	0,2	0,7	0,2	0,5	0,6	0,0	0,1	0,0	22	284	3	10	2	32,0	0,6	15	4	2	12	1,5	2	14	10,0	36,0	47	22	20	2,5	27	12	36	2,5	11	2	57	2	1	52	124
2450555	2	6,1	0,4	0,2	14,9	140,0	18,2	72,4	0,1	2,2	5,0	0,0	0,1	0,7	0,1	0,3	0,5	0,0	0,1	0,0	16	214	3	10	2	11,0	0,6	1	3	4	12	1,5	2	14	11,0	9,0	15	16	20	2,5	11	12	34	2,5	8	2	25	2	1	14	84
2450555	3	13,8	0,6	0,4	22,4	185,0	29,6	62,8	0,2	2,6	2,9	0,0	0,1	0,7	0,3	0,5	0,2	0,0	0,1	0,0	22	229	3	22	2	20,0	27,0	1	2	2	12	1,5	5	14	8,0	6,0	15	19	20	2,5	11	36	42	2,5	12	2	11	2	1	8	156
2450556	3	11,6	0,7	0,4	15,6	139,0	27,7	67,3	0,1	1,9	1,8	0,0	0,1	0,7	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	9	242	3	10	2	14,0	0,6	1	1	2	12	1,5	2	14	11,0	23,0	15	17	20	2,5	11	12	32	2,5	13	2	21	2	1	11	50
2450556	4	7,9	0,6	0,2	13,1	228,0	21,0	68,6	0,2	3,0	5,2	0,1	0,2	0,5	0,2	0,5	0,4	0,0	0,1	0,0	16	226	3	10	5	30,0	30,0	21	6	2	12	1,5	4	14	11,0	40,0	15	22	20	2,5	11	12	32	2,5	12	2	45	2	1	55	141
2450556	5	9,9	0,7	0,2	15,2	156,0	25,1	68,0	0,1	2,2	3,1	0,0	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	15	233	3	26	2	23,0	19,0	11	4	2	12	1,5	2	14	16,0	14,0	15	20	20	2,5	11	12	32	2,5	14	2	23	2	1	31	72

Anhang 6: Chemische Analytik: ICP

Einheiten siehe Anhang 3
Chemische Analytik ICP

Profilnr.	Hori- zont- nr.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
2450501	1	490,0	274,3	11749,1	11856,2	503,7	2634,3	30100,8	287,3	2104,7	2037,9	5255,0	16,1	50,2	108,4	0,6	1,8	6,7	30,3	25,3	13,7	1,1	14,8	72,5		142,5	46,7	688,9
2450501	2	492,6	392,3	12286,2	9826,7	176,9	2640,2	11495,7	294,6	2340,0	567,0	2324,6	15,3	39,4	71,7	0,6	0,3	5,5	17,2	12,3	12,8	0,5	12,6	26,3		46,7	28,4	69,6
2450501	3	542,0	466,5	15984,3	15050,6	234,8	4063,0	12502,5	437,5	3410,8	513,4	3148,5	5,0	42,5	97,5	0,8	0,3	8,3	23,6	18,2	18,7	1,9	18,6	8,4		45,3	36,3	91,7
2450502	1	653,6	458,5	17751,1	18876,8	520,4	3543,6	14905,7	259,1	3628,1	1350,1	2007,7	12,7	40,0	108,5	0,9	0,9	9,0	45,2	19,4	18,1	1,3	19,4	58,0		83,9	51,4	97,2
2450502	2	434,0	419,3	15366,1	14057,2	207,6	3298,3	9931,7	284,9	3130,7	654,4	1751,4	13,3	36,8	85,0	0,8	0,6	8,4	22,8	18,4	16,3	1,6	18,1	16,3		41,1	34,7	80,5
2450502	3	688,1	369,9	13124,5	13307,2	179,1	3171,1	14258,7	310,1	2886,9	671,3	2160,2	5,0	34,9	78,6	0,7	0,3	8,5	19,8	15,6	13,4	3,1	16,4	9,5		43,5	28,7	83,0
2450502	4	497,5	426,5	15403,5	15582,3	245,1	3699,2	24400,9	303,6	3621,3	619,9	2629,0	5,0	39,1	88,3	0,8	0,3	6,9	22,0	18,5	21,1	2,0	16,8	7,6		53,5	34,0	69,8
2450503	1	467,1	262,9	11297,5	13066,4	534,3	2453,4	20275,1	332,9	2300,7	1339,1	4453,7	11,6	30,8	84,9	0,6	0,6	6,7	41,4	20,6	15,8	2,5	13,7	44,0		119,6	37,7	106,7
2450503	2	534,8	260,4	10698,3	9886,5	238,3	2321,6	16041,9	369,4	2101,2	648,0	3868,4	10,9	31,9	66,2	0,6	0,5	6,2	16,5	14,1	16,3	2,3	14,0	20,2		78,2	24,4	94,2
2450503	3	457,8	436,8	17439,1	15047,2	206,2	4112,2	12010,5	408,6	3748,0	543,1	3323,8	5,0	37,5	91,7	0,9	0,6	10,1	26,0	21,5	25,7	2,6	21,2	13,0		57,4	42,5	98,8
2450503	4	506,0	291,8	11693,3	10917,3	177,2	3047,9	12899,4	449,5	2668,8	593,0	4376,3	5,0	33,9	67,4	0,6	0,3	8,8	17,9	15,5	18,7	3,6	16,0	8,3		49,1	28,1	101,3
2450504	1	344,7	175,4	3897,9	7189,9	322,3	1585,8	127742,9	227,9	628,4	924,4	3394,8	11,6	32,9	80,2	0,2	0,3	1,0	5,2	9,9	12,6	0,5	4,1	36,4		227,2	11,3	38,0
2450504	2	308,3	20,8	612,6	2466,8	458,8	2699,2	373373,4	200,6	188,6	269,7	4417,2	5,0	21,3	130,9	0,0	0,3	1,0	1,1	0,5	15,4	0,5	1,0	5,0		492,9	2,1	4,9
2450504	3	358,4	4,1	194,0	2449,1	706,1	2279,2	356978,8	170,2	119,9	246,8	4311,3	5,0	22,3	116,1	0,0	0,3	1,0	0,7	1,4	14,0	0,5	0,5	10,5		416,5	0,5	8,1
2450504	4	450,4	9,5	381,3	7649,9	986,7	1883,6	319382,8	171,3	176,8	443,9	6616,0	5,0	34,9	109,9	0,0	0,3	1,0	0,9	0,5	12,5	1,6	1,8	2,5		361,2	1,2	8,0
2450504	5	346,6	17,0	500,9	7803,4	868,4	2592,0	340397,9	201,9	220,7	637,8	11335,0	5,0	35,4	128,2	0,0	0,3	1,0	1,3	0,5	14,8	2,0	1,7	2,5		428,7	1,8	8,5
2450505	1	349,9	31,3	1098,6	6032,5	638,6	1951,0	260629,4	186,4	287,5	483,2	3481,1	5,0	24,4	106,1	0,1	0,6	1,0	2,8	4,1	14,3	0,5	1,8	16,2		339,0	4,5	16,4
2450505	2	285,3	7,8	306,2	3643,4	874,0	2218,3	359943,3	149,4	114,9	282,5	4856,8	5,0	13,7	117,7	0,0	0,3	1,0	1,0	0,5	15,9	0,5	1,2	2,5		395,8	1,2	2,9
2450506	1	415,0	18,8	719,4	7765,8	731,3	1709,0	264899,9	188,7	206,3	460,2	2863,7	5,0	11,4	115,5	0,1	0,3	1,0	2,1	0,5	2,0	1,2	0,5	12,2		346,7	3,5	15,8
2450506	2	596,3	48,7	749,1	7338,5	795,7	2023,6	280032,5	210,1	386,1	209,1	4165,0	5,0	18,6	105,8	0,1	0,3	1,0	1,1	3,0	2,0	2,2	0,5	2,5		345,8	2,6	3,1
2450506	3	332,0	168,8	1853,7	9769,0	219,5	800,7	34079,6	151,2	551,2	232,2	581,1	5,0	8,7	24,4	0,2	0,3	1,0	1,9	4,4	2,0	1,4	0,5	2,5		50,9	5,7	6,5
2450506	4	412,2	146,1	1549,6	7900,3	346,0	1096,0	85774,3	161,9	521,0	222,4	1448,3	5,0	18,2	43,8	0,2	0,3	1,0	1,8	3,4	2,0	1,7	0,5	2,5		125,1	4,9	5,9
2450506	5	361,9	163,1	1475,8	6448,5	281,4	1073,4	79071,7	150,8	499,9	196,8	1465,5	5,0	20,5	44,5	0,1	0,3	1,0	2,0	3,7	2,0	1,7	0,5	2,5		126,0	4,7	5,3
2450507	1	407,7	130,1	4577,4	16017,2	1124,1	1970,4	167953,3	204,0	724,2	1290,5	3590,2	10,8	34,0	158,5	0,3	0,3	3,2	5,8	12,4	2,0	1,8	4,0	27,9		302,5	14,6	43,1
2450507	2	313,2	45,1	1692,2	4118,8	422,5	1932,2	273341,0	184,2	322,4	429,2	3631,2	5,0	17,8	131,5	0,1	0,3	1,0	2,2	6,8	2,0	1,5	1,3	2,5		393,6	5,2	8,7
2450507	3	429,3	29,9	1164,1	7777,2	714,3	1770,8	260341,3	197,6	271,0	508,0	4353,1	10,6	29,8	120,0	0,1	0,3	1,0	1,2	7,0	2,0	3,0	1,4	6,5		374,8	4,0	10,1
2450508	1	488,9	74,6	2858,0	9810,9	965,4	1778,7	232268,1	240,0	457,7	912,3	3306,8	5,0	25,1	130,7	0,2	0,3	2,1	20,8	8,9	2,0	1,1	3,1	30,3		330,9	15,8	40,8
2450508	2	570,8	42,7	1399,9	8776,3	818,4	2221,3	306610,7	201,3	236,9	326,4	3370,6	5,0	20,0	146,5	0,1	0,3	1,0	1,7	2,8	2,0	0,5	0,5	2,5		438,6	5,5	9,8
2450508	3	445,1	44,6	1653,0	5534,4	558,5	2484,8	326605,0	211,9	244,3	355,4	3677,4	5,0	23,1	148,3	0,1	0,3	1,0	1,6	6,7	2,0	1,6	1,1	2,5		499,3	5,0	9,8
2450508	4	248,1	8,9	290,0	2072,3	547,5	2556,8	345292,9	204,5	91,0	234,4	3235,5	5,0	19,5	127,7	0,0	0,3	1,0	1,0	1,8	5,0	1,1	1,2	2,5		446,9	1,1	3,5
2450508	5	269,1	7,2	289,9	3658,0	611,8	2150,5	323815,4	170,9	93,9	370,0	4290,9	5,0	11,0	117,2	0,0	0,3	1,0	6,0	1,3	14,2	0,5	2,9	2,5		388,6	1,2	4,4
2450508	6	270,6	18,3	594,2	6258,3	943,8	1604,5	248188,6	175,6	169,1	730,7	7277,8	5,0	21,1	96,3	0,1	0,3	1,0	1,1	4,0	5,8	1,8	1,9	2,5		274,0	2,4	12,0
2450509	1	326,6	55,9	1962,1	11869,8	563,7	1551,0	241724,5	177,2	308,2	1010,8	4161,3	15,7	23,5	110,3	0,1	0,7	1,0	12,2	4,1	6,4	0,5	3,1	25,5		299,0	10,8	31,5
2450509	2	422,5	26,0	1026,9	4149,0	346,0	1906,2	285079,8	182,4	260,9	418,1	4559,1	21,4	20,9	111,1	0,1	0,6	1,0	1,2	3,6	5,7	1,1	2,1	2,5		402,5	4,2	5,9
2450509	3	387,5	26,6	1084,9	4369,9	323,9	1898,8	257782,8	174,3	238,8	426,5	4606,2	5,0	22,5	103,7	0,1	0,3	1,0	1,4	5,8	4,9	1,1	3,3	2,5		377,4	4,4	7,3
2450510	1	393,4	45,8	909,5	4537,3	852,1	2423,4	287445,1	248,5	370,4	835,8	4105,1	5,0	34,6	125,0	0,1	0,3	1,0	8,7	6,1	5,6	0,5	1,4	13,5		428,7	12,4	24,5
2450510	2	475,0	18,9	296,5	2865,2	820,7	3169,3	364472,6	212,6	135,7	100,1	3959,3	5,0	13,1	159,2	0,0	0,3	1,0	0,6	0,5	4,4	0,5	0,5	2,5		570,3	2,1	6,2
2450510	3	260,3	29,6	695,9	5889,7	850,2	2835,9	306926,5	188,6	268,2	233,6	7828,9	20,0	16,8	152,5	0,1	0,3	1,0	1,2	1,6	2,0	3,9	1,4	2,5		551,2	2,4	12,7
2450510	4	327,6	492,0	17935,0	23011,0	2022,1	3616,8	45981,8	2948,6	4597,3	348,0	17930,0	24,5	30,2	108,3	1,8	0,3	7,0	14,8	11,3	11,9	3,9	14,4	6,6		89,5	28,0	64,9
2450511	1	437,9	43,2	1415,6	6139,3	1087,2	2109,9	271233,2	243,8	279,7	658,3	3967,3	5,0	34,0	132,0	0,1	0,3	1,0	6,7	6,5	5,3	1,3	2,9	25,6		363,0	10,4	33,5
2450511	2	276,1	9,5	210,7	2951,8	582,5	2852,6	363735,0	200,6	81,3	88,5	3319,2	5,0	16,6	144,0	0,0	0,3	1,0	0,6	2,1	7,3	1,5	0,5	2,5		481,1	1,6	2,5
2450511	3	272,4	6,3	182,7	1419,9	500,7	3047,3	358912,4	217,4	76,3	84,7	3550,2	5,0	27,0	150,1	0,0	0,3	1,0	0,9	0,9	7,5	0,5	0,5	2,5		508,6	0,5	1,2
2450511	4	268,0	3,1	129,7	2058,5	462,6	3007,6	386107,0	199,1	83,2	235,3	5132,9	5,0	20,0	143,2	0,0	0,3	1,0	0,5	0,5	7,3	1,9	0,5	2,5		489,6	0,5	6,0
2450511	5	460,6	13,5	233,7	4666,7	966,2	2810,3	351481,4	195,5	123,9	447,3	10380,0	5,0	24,0	136,8	0,0	0,3	1,0	1,0	0,5	4,3	2,9	1,4	2,5		475,9	0,5	4,3
2450512	1	377,8	42,1	1205,3	7158,8	612,4	1879,7	264878,7	252,1	247,6	558,9	3978,0	5,0	26,5														

Anhang 6: Chemische Analytik: ICP

Profilnr.	Horiz- zont- nr.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
2450515	1	549,3	142,1	6075,6	8766,0	691,3	3124,3	191798,0	298,8	1401,4	1167,3	6027,6	5,0	38,3	144,5	0,3	0,5	3,4	10,3	9,1		0,5	7,2	62,8		228,4	15,1	49,6
2450515	2	495,1	117,8	4547,9	6851,2	559,5	3509,1	237041,0	217,2	961,3	370,8	4918,1	5,0	25,0	175,8	0,2	0,3	2,8	6,7	2,8		0,5	5,7	8,3		284,6	9,5	12,1
2450515	3	370,6	15,9	695,6	2819,7	466,2	3633,2	281097,0	277,9	175,4	253,6	6004,6	5,0	19,6	168,2	0,0	0,3	1,0	1,4	0,5		0,5	1,6	25,5		404,2	1,5	3,6
2450515	4	320,8	2,4	111,5	1640,2	473,2	5447,5	358156,0	327,5	72,0	154,7	6474,0	10,3	18,2	209,9	0,0	0,3	1,0	1,4	0,5		0,5	1,1	2,5		516,6	0,5	2,1
2450515	5	348,6	0,8	100,6	2440,0	589,1	4620,4	350110,0	291,9	74,1	218,0	7128,2	5,0	16,5	192,4	0,0	0,3	1,0	1,1	0,5		0,5	0,5	19,8		449,0	0,5	2,3
2450515	6	473,1	7,2	280,6	3483,7	597,3	3875,9	324876,0	243,4	106,0	410,1	6963,8	5,0	17,7	174,9	0,0	0,3	1,0	1,6	0,5		0,5	1,8	2,5		366,4	0,5	3,9
2450515	10	380,5	270,8	14108,0	19008,6	395,6	4074,9	147474,0	310,2	2164,1	718,6	3872,2	17,6	37,5	198,3	0,6	0,8	6,1	17,8	9,4		1,1	12,8	46,3		182,6	27,8	38,3
2450516	1	518,3	158,7	7331,9	12351,4	403,7	3332,6	237896,0	344,8	981,3	985,3	4735,3	16,4	35,4	164,4	0,3	1,0	4,0	9,9	5,6		1,5	9,4	21,4		266,3	13,9	28,7
2450516	2	884,1	22,4	705,8	2438,4	576,5	4428,7	324322,0	327,0	160,4	142,3	4143,6	19,3	17,8	179,5	0,0	0,5	1,0	1,6	2,5		0,5	2,1	11,9		417,1	1,7	1,7
2450516	4	465,0	57,2	925,4	1657,2	352,7	5979,9	344861,0	349,0	220,6	142,9	4321,9	5,0	13,2	193,5	0,0	0,6	1,0	2,3	0,5		0,5	2,8	16,9		517,7	1,7	3,8
2450516	6	467,2	8,1	367,3	1717,6	449,4	7402,5	386164,0	271,6	91,8	121,0	4657,1	5,0	16,2	214,4	0,0	0,3	1,0	1,3	0,5		0,5	1,5	2,5		593,5	0,5	1,8
2450517	1	985,4	74,4	2120,3	11906,0	414,9	1851,2	238429,0	388,7	679,3	1346,6	3513,2	12,5	26,2	130,9	0,1	0,8	2,1	5,3	6,3		0,5	5,7	52,2		230,9	12,1	22,5
2450517	2	359,3	9,2	363,4	9706,1	614,8	1211,5	267555,0	333,0	188,3	619,3	2950,0	5,0	18,0	133,2	0,0	0,6	1,0	1,1	0,5		0,5	2,1	11,8		229,5	1,8	3,1
2450517	4	260,1	16,3	639,0	8606,4	973,6	1396,7	321571,0	289,6	190,0	738,7	3527,8	5,0	13,0	151,1	0,0	0,7	1,0	1,5	0,5		0,5	2,2	2,5		230,1	1,8	4,0
2450517	7	384,7	423,4	7953,7	9419,5	363,8	3921,2	121792,0	173,9	1748,3	207,8	1826,4	12,3	24,2	54,6	0,3	0,3	4,2	11,7	4,3		0,5	7,5	2,5		124,2	16,8	13,5
2450517	8	468,9	243,2	2279,7	2462,5	35,1	351,0	1216,4	85,0	451,2	78,2	128,3	5,0	18,5	20,7	0,1	0,3	1,0	3,4	1,6		0,5	2,0	26,3		5,8	5,4	5,3
2450518	2	668,0	105,0	4290,0	46149,0	1026,4	2049,0	47093,0	653,0	1163,0	1955,0	10622,0	25,0	72,0	257,2	0,3		6,0	8,5	19,0		10,0	16,0	16,0		273,2	16,0	29,0
2450518	4	505,0	61,0	2030,0	11050,0	390,1	2142,0	199226,0	634,0	754,0	869,0	6584,0	45,0		127,9	0,1		2,0	4,1	6,0		5,0	6,0			355,6	5,0	14,0
2450518	5	658,0	87,0	2224,0	16206,0	1078,1	2587,0	248087,0	503,0	851,0	1824,0	7021,0	35,0		163,4	0,2			4,7	4,0		4,0	4,0	23,0		486,3	6,0	11,0
2450519	1	432,0	247,0	9621,0	31794,0	1133,4	3170,0	96955,0	292,0	3565,0	2456,0	4031,0	20,0	64,0	344,0	0,7		6,0	18,3	38,0		6,0	18,0	40,0		344,9	36,0	89,0
2450519	2	716,0	32,0	1032,0	7602,0	428,5	4823,0	270327,0	297,0	823,0	153,0	3625,0	23,0		142,3	0,1			2,5	2,0		5,0	3,0	36,0		835,3	3,0	2,0
2450519	3	518,0	17,0	593,0	1143,0	352,2	3500,0	272034,0	290,0	568,0	92,0	3295,0	16,0		155,7	0,0			1,5			3,0	2,0	15,0		645,8	2,0	1,0
2450520	1	807,0	198,0	7906,0	34619,0	1102,2	2884,0	156458,0	479,0	2822,0	2243,0	3597,0	15,0	56,0	265,6	0,5		6,0	14,5	21,0		6,0	16,0	27,0		420,8	26,0	48,0
2450520	3	1229,0	27,0	610,0	18894,0	489,6	1827,0	329084,0	856,0	497,0	843,0	2387,0	25,0		173,8	0,1			1,1	3,0		2,0	4,0			563,3	3,0	4,0
2450520	4	714,0	47,0	1229,0	5099,0	413,3	5362,0	318464,0	343,0	785,0	244,0	2740,0	18,0		155,9	0,1			2,6	3,0		3,0	2,0			831,1	3,0	3,0
2450521	2	710,0	47,0	1676,0	16527,0	1504,7	655,0	73062,0	386,0	249,0	1690,0	6426,0	47,0	147,0			0,1		8,2	6,0		4,0	3,0	73,0		209,0	20,0	25,0
2450521	4	221,0	1,0	4,0	1992,0	878,1	2716,0	313498,0	392,0	189,0	125,0	4695,0	30,0	101,0			0,0		0,5					20,0		321,3	1,0	0,0
2450521	5	200,5	5,0	14,0	2434,0	640,2	2761,0	288187,0	391,0	33,0	114,0	5762,0	25,0		92,3	0,0			0,5							306,2	1,0	1,0
2450521	6	177,0	2,0	5,0	4549,0	777,4	2896,0	314440,0	436,0	86,0	126,0	9554,0	28,0	98,0			0,0		0,7							315,5	1,0	1,0
2450522	1	506,0	125,0	3659,0	14495,0	360,1	1746,0	84312,0	288,0	815,0	837,0	2705,0	31,0	104,5		0,2		3,0	7,2	7,0			4,0	27,0		144,3	12,0	35,0
2450522	2	1055,0	46,0	1381,0	10317,0	330,4	2146,0	183568,0	258,0	429,0	519,0	4258,0	35,0		118,3	0,1			2,6	3,0		2,0	13,0			269,3	4,0	8,0
2450522	3	314,0	6,0	231,0	16831,0	441,4	2589,0	275889,0	162,0	155,0	384,0	4425,0	21,0		150,9	0,0			1,0	2,0				27,0		385,5	1,0	1,0
2450523	1	328,0	92,0	2617,0	19342,0	445,9	2229,0	170996,0	171,0	869,0	705,0	3111,0	28,0		137,1	0,1			7,7	5,0			3,0	39,0		250,0	9,0	22,0
2450523	2	299,0	9,0	284,0	13478,0	401,2	2588,0	309142,0	148,0	187,0	274,0	3746,0	17,0		155,6	0,0			0,8							398,1	1,0	1,0
2450523	3	348,0	8,0	275,0	20702,0	398,9	2269,0	276223,0	151,0	152,0	435,0	4426,0	19,0		150,8	0,0			0,8							361,1	1,0	2,0
2450523	4	344,0	4,0	181,0	12878,0	308,0	2238,0	303340,0	160,0	157,0	359,0	4018,0	15,0	18,0	150,9	0,0			0,7					57,0		377,0	1,0	1,0
2450523	5	430,0	9,0	262,0	15019,0	376,9	1673,0	239274,0	181,0	154,0	732,0	3944,0	18,0	28,0	145,9	0,0			0,9							312,1	1,0	4,0
2450524	6	504,0	213,0	11675,0	22092,0	203,2	842,0	3326,0	252,0	1209,0	372,0	332,0	21,0		264,2	0,3		2,0	13,9	8,0		3,0	8,0	10,0		21,4	11,0	12,0
2450524	7	496,0	182,0	9959,0	17266,0	119,7	775,0	3945,0	172,0	1305,0	249,0	1391,0	25,0		206,4	0,4			17,9	6,0		4,0	11,0	23,0		20,9	14,0	11,0
2450525	1	1827,0	186,0	8701,0	9732,0	531,7	1525,0	25161,0	155,0	1318,0	1030,0	3049,0	50,0		87,4	0,4		4,0	18,5	11,0		4,0	11,0	37,0		70,1	37,0	50,0
2450526	2	535,0	158,0	10110,0	44718,0	678,0	1030,0	3727,0	149,0	1618,0	2610,0	1137,0	14,0	25,0	166,5	0,4	1,7	3,0	27,5	14,0		4,0	12,0	46,0		19,4	49,0	48,0
2450526	8	440,0	180,0	9737,0	12637,0	99,0	731,0	3413,0	131,0	1243,0	237,0	1296,0	28,0		201,3	0,4			17,8	7,0		3,0	12,0	20,0		19,1	13,0	12,0
2450527	1	512,0	176,0	9647,0	33330,0	614,7	922,0	3040,0	131,0	1641,0	1770,0	1240,0	30,0	144,5		0,4	1,1	3,0	27,3	28,0		4,0	11,0	44,0		16,8	41,0	56,0
2450541	3	346,3	37,4	1637,0	3244,0	588,3	4100,0	306900,0	311,8	539,8	118,3	1421,0	2,3	15,9	112,4	0,1	0,1	0,7	1,4	4,5	4,7	0,5	3,3	3,3	1,0	775,2	4,2	5,4
2450541	4	347,6	95,4	3381,0	4829,0	541,9	4086,0	295800,0	324,2	1094,0	93,6	1515,0	4,7	20,1	116,7	0,2	0,1	0,9	3,7	7,1	6,8	0,5	6,2	4,3	1,0	691,0	7,7	10,6
2450541	5	410,2	572,5	16560,0	25460,0	415,7	7822,0	153600,0	342,5	5004,0	299,9	1940,0	6,8	37,0	127,1	0,8	0,1	6,2	25,4	18,3	27,2	0,5	18,2	14,9	0,1	270,0	33,2	40,6
2450541	6	370,7	618,4	19590,0	23970,0	377,4	8793,0	131700,0	424,3	6027,0	325,7	5467,0	5,6	46,1	157,7	0,8	0,1	6,5	27,4	22,3	30,9	1,0	19,4	17,5	0,0	290,7	40,2	42,8
2450541																												

Anhang 6: Chemische Analytik: ICP

Profilnr.	Hori- zont- nr.	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	P	S	As	B	Ba	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
2450552	6	267,6	0,5	135,8	434,7	369,6	2984,0	356100,0	325,1	132,5	54,8	1559,0	0,8	26,0	131,4	0,1	0,1	0,1	0,3	1,7	7,0	0,5	0,3	6,7	1,0	384,4	1,1	4,7
2450552	7	228,2	0,5	77,2	863,6	412,5	2782,0	369000,0	303,5	136,0	61,1	1918,0	1,0	17,6	118,7	0,1	0,1	0,1	0,3	1,6	6,3	0,5	3,2	1,3	1,1	354,8	0,9	3,1
2450553	3	210,9	0,5	81,0	973,4	371,5	2929,0	370900,0	289,4	91,5	68,9	2034,0	1,0	18,9	121,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	5,7	0,5	0,3	11,8	0,8	364,0	0,6	3,2
2450553	4	90,5	0,5	39,8	1571,0	587,1	2352,0	324300,0	231,5	63,1	60,1	2020,0	0,7	10,4	92,4	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	5,2	0,5	0,3	2,5	0,9	268,1	0,6	1,7
2450553	5	201,4	0,5	113,9	2162,0	560,3	2653,0	332700,0	267,9	92,2	61,1	3052,0	0,9	17,8	96,4	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	5,2	0,5	0,3	1,5	0,8	287,6	0,7	1,9
2450553	6	223,6	2,4	84,5	2520,0	385,2	2369,0	333984,0	225,9	62,1	43,3	2914,0	1,5	14,0	101,0	0,1	0,1	0,1	0,3	1,5	4,1	0,5	0,9	2,3	0,7	321,4	1,8	2,0
2450554	1	422,2	162,8	9849,0	46410,0	498,5	942,6	3663,0	161,4	1594,0	2612,0	1562,0	24,1	25,3	165,0	0,4	0,3	2,6	27,5	18,7	5,6	0,5	12,9	43,9	3,8	19,1	53,3	62,5
2450554	2	342,2	84,1	4345,0	12820,0	49,4	362,5	2100,0	342,5	1299,0	467,4	2481,0	15,6	17,5	102,8	0,1	0,1	0,8	8,9	8,6	2,5	0,5	8,8	26,4	1,6	14,0	8,6	11,1
2450554	3	343,5	58,9	2634,0	57800,0	37,5	302,3	3257,0	172,3	641,5	2471,0	5534,0	73,0	21,4	107,1	0,1	0,1	1,2	8,2	11,1	2,2	0,5	12,6	12,0	3,4	19,8	6,3	11,5
2450555	1	406,6	182,0	10510,0	46340,0	531,5	1057,0	4767,0	311,3	2201,0	2410,0	1445,0	20,9	29,7	179,8	0,4	0,3	2,4	24,3	16,6	6,1	0,5	11,6	41,0	3,3	23,0	44,6	56,5
2450555	2	383,4	150,9	7772,0	36530,0	319,7	656,7	4411,0	179,1	1246,0	2178,0	1522,0	14,1	26,0	129,1	0,4	0,1	2,5	13,2	6,2	3,4	0,5	9,8	13,6	1,8	24,1	14,1	21,0
2450555	3	397,9	196,3	7167,0	20440,0	66,1	556,8	4324,0	163,4	1026,0	818,8	2789,0	20,0	21,9	154,7	0,3	0,1	1,2	14,3	6,7	3,0	0,5	11,1	6,0	1,3	20,8	9,6	11,7
2450556	3	352,9	133,8	6942,0	12820,0	92,5	588,9	4516,0	201,4	757,3	338,4	2369,0	9,7	27,8	168,6	0,3	0,1	1,8	12,1	10,9	3,2	0,5	13,9	17,8	1,2	25,2	11,9	18,4
2450556	4	370,1	193,5	10270,0	37600,0	556,0	968,4	3053,0	190,8	1368,0	1667,0	1346,0	14,3	26,9	140,6	0,4	0,4	2,3	24,3	26,3	5,3	0,5	10,0	40,3	2,9	17,6	39,9	57,1
2450556	5	424,2	147,4	7732,0	22210,0	274,2	695,7	4115,0	185,7	811,1	471,8	1893,0	12,8	27,6	155,9	0,4	0,1	1,9	14,7	12,4	3,5	0,5	14,4	12,7	1,7	22,7	16,2	33,7

Anhang 7: Chemische Analytik: Kationenaustauschkapazität

Potenzielle Kationenaustauschkapazität

Einheiten siehe Anhang 3

Profilnummer	Horizontnummer	H+	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Al3+	Fe3+	Mn2+	Summe Kationen 1-5	KAK
2450501	1	10,9	125,5	6,8	0,7	0,3				144,1	96,5
2450501	2	4,2	37,5	2,2	0,5	0,0				44,5	35,7
2450501	3	10,0	50,3	5,1	1,3	0,0				66,7	50,5
2450502	1	16,5	52,0	1,7	0,4	0,5				71,1	55,3
2450502	2	12,3	44,9	1,5	0,6	0,1				59,3	44,0
2450502	3	16,5	61,0	2,3	0,8	0,1				80,7	62,8
2450502	4	11,3	81,4	3,3	0,5	0,3				96,8	80,1
2450503	1	20,5	87,5	3,4	0,9	0,2				112,5	83,3
2450503	2	15,9	71,1	2,9	1,0	0,0				91,0	65,6
2450503	3	12,7	51,3	3,3	1,1	0,1				68,5	50,8
2450503	4	16,5	53,4	3,3	1,4	0,0				74,6	54,6
2450508	1	-0,6	54,6	0,6	0,2	0,0				54,8	46,8
2450508	2	-4,9	21,6	0,0	0,1	0,0				16,7	15,0
2450508	3	-5,5	29,3	0,0	0,0	0,0				23,9	23,0
2450508	4	-6,3	14,7	0,0	0,0	0,0				8,4	7,9
2450512	1	-1,9	47,1	0,3	0,2	0,0				45,7	40,3
2450512	2	-4,2	20,2	0,0	0,1	0,0				16,1	13,7
2450512	3	-7,1	20,8	0,0	0,1	0,0				13,8	13,7
2450512	4	-4,8	28,4	0,5	0,2	0,0				24,2	20,9
2450513	1	0,8	59,0	0,5	0,1	0,0				60,4	53,4
2450513	2	-4,7	26,6	0,0	0,1	0,0				22,0	19,8
2450513	3	-5,2	22,9	0,0	0,0	0,0				17,7	15,3
2450513	4	-6,1	36,1	0,0	0,0	0,0				30,0	26,5
2450513	5	-5,9	32,3	0,1	0,1	0,0				26,6	21,6
2450514	1	4,4	117,8	6,9	0,5	0,3				129,8	76,6
2450514	2	13,0	163,0	6,2	0,7	0,2				183,2	99,3
2450514	3	-6,8	38,7	2,3	0,4	0,0				34,6	22,9
2450514	4	-6,9	39,7	3,2	0,5	0,0				36,6	25,8
2450514	5	-8,0	37,7	2,7	0,6	0,0				33,0	24,4
2450514	6	-8,3	31,4	2,0	0,5	0,0				25,6	19,0
2450514	7	-6,4	30,5	1,9	0,4	0,1				26,6	17,6
2450515	1	-1,5	62,3	3,8	0,3	0,1				65,0	50,5
2450515	2	-7,1	38,5	1,8	0,2	0,0				33,4	31,2
2450515	3	-7,0	38,0	2,1	0,3	0,0				33,5	26,4
2450515	4	-7,1	20,1	1,4	0,3	0,0				14,7	13,3
2450515	5	-9,1	24,5	1,6	0,4	0,0				17,4	14,3
2450515	6	-6,1	26,3	1,9	0,4	0,0				22,5	17,4
2450515	10	-3,4	55,9	4,1	0,5	0,1				57,3	46,4
2450516	1	-1,5	71,0	2,8	0,4	0,1				72,8	61,4
2450516	2	-4,6	19,7	0,9	0,2	0,0				16,3	13,4
2450516	4	-5,0	18,5	0,8	0,1	0,0				14,5	12,9
2450516	6	-8,1	16,4	0,8	0,2	0,0				9,2	9,8
2450517	1	-1,9	39,0	1,7	0,3	0,8				39,9	36,3
2450517	2	-6,4	26,0	0,9	0,2	0,5				21,1	17,5
2450517	4	-5,1	13,5	0,4	0,1	0,3				9,1	8,3
2450517	7	-3,5	10,4	0,6	0,1	0,5				8,1	7,2
2450517	8	0,1	2,1	0,2	0,0	0,1				2,5	2,2
2450524	6	6,7	13,0	1,0	0,2	0,4	0,1	0,4	0,0	21,3	19,5
2450524	7	13,3	17,1	1,2	0,2	0,6	0,1	1,9	0,0	32,3	27,1

Anhang 7: Chemische Analytik: Kationenaustauschkapazität

Profilnummer	Horizontnummer	H+	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Al3+	Fe3+	Mn2+	Summe Kationen 1-5	KAK
2450525	1	16,3	107,6	2,4	0,1	0,1	0,6	1,0	0,0	126,7	85,1
2450526	2	24,4	15,7	2,2	0,2	1,1	0,1	2,3	0,0	43,6	33,0
2450526	8	10,6	14,3	1,0	0,2	0,4	0,1	1,6	0,0	26,5	23,2
2450527	1	28,5	12,2	1,3	0,2	1,3	0,1	3,0	0,0	43,5	31,2
2450541	3	-5,7	27,0	1,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	22,6	19,5
2450541	4	-6,4	19,7	1,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	14,6	12,9
2450541	5	-4,7	20,7	1,2	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	17,6	15,9
2450541	6	-5,6	18,7	1,0	0,1	0,7	0,0	0,1	0,0	15,1	13,1
2450541	7	-3,4	10,1	0,7	0,1	0,5	0,0	0,1	0,0	8,0	6,0
2450542	2	-2,3	35,2	1,8	0,0	0,4	0,1	0,6	0,0	35,1	30,4
2450542	4	-5,8	22,1	1,4	0,0	1,1	0,0	0,4	0,0	18,8	14,5
2450542	5	-6,1	12,2	0,6	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	6,9	5,6
2450542	6	-6,5	13,3	0,7	0,0	0,3	0,0	0,2	0,0	7,8	6,0
2450542	7	-7,6	17,8	1,1	0,3	0,4	0,0	0,4	0,0	12,0	10,9
2450549	2	2,9	68,7	1,7	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	73,4	50,9
2450549	3	2,6	77,0	2,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,0	81,5	57,6
2450549	4	9,7	67,0	2,5	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	79,3	46,4
2450549	5	7,9	65,2	2,3	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	75,5	45,2
2450550	2	26,6	64,9	2,1	0,0	0,1	0,5	0,3	0,0	93,7	66,5
2450551	1	25,8	68,8	3,7	0,0	0,2	0,5	1,3	0,0	98,5	56,3
2450551	2	18,4	75,9	3,0	0,0	0,2	0,5	1,3	0,0	97,5	72,2
2450551	3	12,3	81,9	4,7	0,0	0,1	0,3	0,8	0,0	99,0	71,0
2450551	4	3,1	56,6	3,0	0,0	0,3	0,0	0,4	0,0	63,0	50,3
2450552	5	-5,8	25,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	20,4	18,2
2450552	6	-5,9	18,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	13,3	12,6
2450552	7	-5,8	15,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	10,2	9,9
2450553	3	-6,5	16,7	0,4	0,0	1,3	0,0	0,1	0,0	11,9	10,7
2450553	4	-5,0	17,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	13,2	11,8
2450553	5	-4,8	17,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	13,0	12,6
2450553	6	-5,0	14,4	0,3	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	9,8	8,8
2450554	1	31,1	16,0	1,9	0,2	1,1	0,0	4,1	0,0	50,4	39,9
2450555	1	27,0	21,1	2,2	0,0	1,5	0,0	1,9	0,0	51,7	39,1
2450555	2	18,9	19,4	1,4	0,0	1,1	0,0	2,1	0,0	40,8	33,0
2450556	4	30,3	11,6	1,3	0,3	0,5	0,0	2,9	0,2	43,9	42,8
2450556	5	26,5	14,8	1,1	0,3	0,3	0,0	3,3	0,1	42,9	31,5

Effektive Kationenaustauschkapazität

Einheiten siehe Anhang 3

Profilnummer	Horizontnummer	H+	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Al3+	Fe3+	Mn3+	KAK	NH4+
2450554	2	0,3	9,0	0,3	0,3	0,9	2,0	0,4	0,1	13,2	13,7
2450554	3	0,7	14,6	0,5	0,5	0,9	1,9	1,5	0,1	20,7	26,8
2450555	3	0,2	16,3	0,4	0,3	0,8	0,8	0,2	0,1	19,0	19,6
2450556	3	0,0	18,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1	20,6	21,4
2450556	4	0,1	12,4	0,7	0,2	0,6	0,4	0,0	0,6	15,0	19,2
2450556	5	0,0	17,2	0,6	0,4	0,4	0,3	0,0	0,3	19,2	22,0

Anhang 8: Physikalische Bodenparameter

TRD = Trockenrohdichte, SV = Substanzvolumen, GVP = Gesamtporenvolumen, FK = Feldkapazität, TW = Totwasseranteil, nFK = nutzbare Feldkapazität, LK = Luftkapazität,

GPV_weit = Volumen weite Grobporen, GPV_eng = Volumen enge Grobporen, MPV = Volumen Mittelporen, FPV = Volumen Feinporen

pF-Werte entsprechen Wassergehalten in Vol.-%

Profilnr.	Hori- zontnr.	Sub- strat	EWZ	frisch	pF1.0	pF1.5	pF1.8	pF2.0	pF2.2	pF2.5	pF2.8	pF3.0	pF4.2	pF4.7	Glüh- rück- stand [%]	TRD [g/cm³]	Rein- dichte [g/cm³]	SV [Vol.-%]	GVP [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	TW [Vol.- %]	nFK [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	GPV Weit [Vol.-%]	GPV Eng [Vol.-%]	MPV [Vol.-%]	FPV [Vol.-%]
2410007	1	Mw	n.b.	n.b.	n.b.	35,64	32,10	24,78	n.b.	23,06	n.b.	22,53	14,76	n.b.	n.b.	1,40	2,65	52,91	47,09	32,10	14,76	17,33	12,93	n.b.	9,04	8,30	14,76
2410007	2	Mw				35,01	32,01	29,60	n.b.	25,26	n.b.	22,53	11,48	n.b.	n.b.	1,32	2,65	49,80	50,20	32,01	11,48	20,53	18,23	n.b.	6,76	13,78	11,48
2410007	3	Mw	n.b.	n.b.	n.b.	26,78	19,76	13,50	n.b.	10,97	n.b.	9,70	3,45	n.b.	n.b.	1,73	2,65	65,45	34,55	19,76	3,45	16,31	15,65	n.b.	8,79	7,52	3,45
2410120	3	Fms	n.b.	n.b.	n.b.	47,00	46,00	45,30	n.b.	42,20	n.b.	39,10	20,50	n.b.	99,00	1,42	2,65	53,41	46,59	46,00	20,50	25,50	0,59	n.b.	3,80	21,70	20,50
2410131	1	Fmu	n.b.	n.b.	n.b.	62,33	60,93	59,93	n.b.	56,03	n.b.	51,97	19,07	n.b.	85,60	0,86	2,65	32,57	67,43	60,93	19,07	41,87	6,50	n.b.	4,90	36,96	19,07
2410172	2	Fmk	n.b.	n.b.	n.b.	68,98	63,93	61,17	n.b.	59,14	n.b.	58,12	4,57	n.b.	93,20	0,77	2,51	30,81	69,19	63,93	4,57	59,36	5,26	n.b.	4,79	54,57	4,57
2410198	4	Fmk	n.b.	n.b.	n.b.	71,83	68,98	67,13	n.b.	63,68	n.b.	60,80	27,78	n.b.	81,40	0,54	2,25	23,83	76,17	68,98	27,78	41,20	7,19	n.b.	5,30	35,90	27,78
2410203	1	Fkk	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	56,50	52,90	n.b.	52,20	n.b.	n.b.	17,70	n.b.	n.b.	0,88	2,60	33,85	66,15	56,50	17,70	38,80	9,65	n.b.	4,30	34,50	17,70
2410203	2	Fkk	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	44,60	43,60	n.b.	43,40	n.b.	n.b.	11,00	n.b.	n.b.	1,26	2,60	48,46	51,54	44,60	11,00	33,60	6,94	n.b.	1,20	32,40	11,00
2410204	2	Fkk	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	1,26	2,60	48,46	51,54	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
2420110	5	Fmu	n.b.	n.b.	n.b.	36,53	34,03	32,33	n.b.	24,93	n.b.	17,20	13,40	n.b.	1,10	1,47	2,65	55,61	44,39	34,03	13,40	20,63	10,36	n.b.	9,10	11,53	13,40
2420254	3	Mw	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	49,58	49,01	n.b.	48,91	n.b.	n.b.	45,81	n.b.	n.b.	0,90	2,23	40,35	59,65	49,58	45,81	3,77	10,07	n.b.	0,67	3,10	45,81
2420254	4	Mw	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	54,79	53,96	n.b.	53,36	n.b.	n.b.	46,33	n.b.	n.b.	0,72	2,25	31,95	68,05	54,79	46,33	8,46	13,26	n.b.	1,43	7,03	46,33
2420255	4	Fmk	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	47,07	46,84	n.b.	46,57	n.b.	n.b.	18,42	n.b.	81,40	0,86	2,25	38,10	61,90	47,07	18,42	28,65	14,83	n.b.	0,50	28,15	18,42
2430070	3	Fmk	n.b.	n.b.	n.b.	47,88	45,35	43,85	n.b.	40,26	n.b.	37,52	18,76	n.b.	83,10	1,04	2,43	42,89	57,11	45,35	18,76	26,59	11,75	n.b.	5,09	21,50	18,76
2430077	6	Fmk	n.b.	n.b.	n.b.	70,74	69,54	67,22	n.b.	62,52	n.b.	52,03	19,09	n.b.	91,70	0,81	2,37	34,30	65,70	69,54	19,09	50,46	-3,85	n.b.	7,02	43,43	19,09
2450501	2	Fhg	1,48	66,66	66,25	n.b.	63,22	60,52	59,89	58,21	56,42	n.b.	27,84	8,22	55,98	0,44	1,92	23,09	76,91	63,22	27,84	35,38	13,69	3,03	5,01	30,37	27,84
2450501	3	Fhg	1,78	79,30	79,20	n.b.	76,83	74,07	72,97	69,63	65,00	n.b.	17,15	8,93	54,72	0,27	1,91	14,06	85,94	76,83	17,15	59,68	9,11	2,37	7,20	52,48	17,15
2450502	2	Fhg	1,69	71,49	71,09	n.b.	68,15	66,82	66,35	64,65	62,64	n.b.	43,15	10,12	36,71	0,35	1,76	19,86	80,14	68,15	43,15	25,01	11,99	2,93	3,50	21,50	43,15
2450502	3	Fhg	2,30	69,69	69,26	n.b.	66,66	65,86	65,62	65,02	63,96	n.b.	31,99	9,69	42,34	0,33	1,80	18,39	81,61	66,66	31,99	34,67	14,95	2,60	1,63	33,03	31,99
2450502	4	Fhg	1,74	79,63	79,50	n.b.	77,27	75,30	74,70	72,83	69,77	n.b.	11,59	5,31	34,68	0,18	1,74	10,29	89,71	77,27	11,59	65,67	12,44	2,23	4,43	61,24	11,59
2450503	2	Fhg	2,20	63,59	63,16	n.b.	61,09	59,96	59,62	58,99	57,79	n.b.	69,42	19,62	64,11	0,50	1,64	25,29	74,71	61,09	69,42	-8,33	13,62	2,07	2,10	-10,43	69,42
2450503	3	Fhg	1,88	75,07	74,60	n.b.	71,20	69,03	68,03	65,47	63,10	n.b.	23,29	5,92	39,12	0,20	1,78	11,27	88,73	71,20	23,29	47,91	17,53	3,40	5,73	42,18	23,29
2450511	1	Fmk	n.b.	57,16	56,86	n.b.	53,01	50,80	49,73	46,46	42,96	n.b.	25,94	8,08	88,93	0,64	2,49	28,96	71,04	53,01	25,94	27,07	18,02	3,85	6,55	20,52	25,94
2450511	2	Fmk	0,81	60,48	60,34	n.b.	57,74	56,11	55,48	53,48	51,58	n.b.	13,73	2,10	84,67	0,61	2,17	27,97	72,03	57,74	13,73	44,01	14,29	2,60	4,27	39,75	13,73
2450513	1	Fmk	n.b.	60,20	60,05	n.b.	59,49	58,49	57,95	55,42	51,55	n.b.	20,51	9,21	75,22	0,66	2,09	31,55	68,45	59,49	20,51	38,98	8,97	0,57	4,07	34,91	20,51
2450513	2	Fmk	n.b.	56,91	56,91	n.b.	55,08	53,58	52,91	47,09	38,81	n.b.	12,56	4,77	89,38	0,74	2,21	33,35	66,65	55,08	12,56	42,52	11,57	1,83	7,98	34,53	12,56
2450513	3	Fmk	n.b.	67,86	67,86	n.b.	67,36	66,29	66,09	64,56	61,76	n.b.	8,74	3,09	81,66	0,56	2,14	26,20	73,80	67,36	8,74	58,62	6,44	0,50	2,80	55,82	8,74
2450513	5	Fmk	n.b.	71,23	71,23	n.b.	70,96	70,46	70,33	69,73	68,90	n.b.	14,61	4,78	85,63	0,49	2,18	22,51	77,49	70,96	14,61	56,35	6,52	0,27	1,23	55,12	14,61
2450541	3	Fmk	0,75	45,62	61,66	56,05	52,92	47,87	n.b.	37,96	n.b.	n.b.	7,52	n.b.	93,40	0,70	2,47	28,42	71,58	52,92	7,52	44,08	18,67	8,75	14,95	30,44	7,52
2450541	4	Fmk	0,77	49,43	67,38	62,80	58,58	51,55	n.b.	40,12	n.b.	n.b.	9,55	n.b.	94,20	0,65	2,58	25,37	74,63	58,58	9,55	49,14	16,05	8,80	18,46	30,57	9,55
2450541	5	Fmk	0,50	50,09	57,34	52,72	51,02	49,46	n.b.	46,27	n.b.	n.b.	14,13	n.b.	95,00	0,92	2,73	33,63	66,37	51,02	14,13	37,36	15,35	6,32	4,76	32,14	14,13
2450541	6	Fmk	0,40	47,57	52,59	49,56	48,10	46,69	n.b.	43,44	n.b.	n.b.	13,01	n.b.	95,40	1,10	2,73	40,38	59,62	48,10	13,01	35,93	11,52	4,49	4,66	30,43	13,01
2450541	7	Fms	0,24	41,83	44,05	42,67	41,71	40,49	n.b.	36,40	n.b.	n.b.	7,13	n.b.	97,90	1,33	2,72	48,95	51,05	41,71	7,13	35,95	9,34	2,34	5,30	29,27	7,13
2450542	2	Fmk	0,87	26,13	55,90	44,34	38,13	32,38	n.b.	26,59	n.b.	n.b.	23,04	n.b.	89,10	0,60	2,35	25,66	74,34	38,13	23,04	16,50	36,21	17,77	11,54	3,55	23,04
2450542	4	Fmk	0,91	69,10	73,21	71,12	69,13	66,00	n.b.	60,61	n.b.	n.b.	26,41	n.b.	92,10	0,56	2,56	21,82	78,18	69,13	26,41	42,22	9,05	4,08	8,52	36,02	24,59
2450542	5	Fmk	0,69	46,11	64,62	54,83	47,12	40,83	n.b.	31,82	n.b.	n.b.	9,52	n.b.	96,20	0,61	2,63	23,29	76,71	47,12	9,52	36,34	29,59	17,50	15,30	22,30	9,52
2450542	6	Fmk	0,68	45,69	61,08	50,83	44,11	36,72	n.b.	30,28	n.b.	n.b.	8,49	n.b.	96,30	0,57	2,63	21,62	78,38	44,11	8,49	36,00	34,27	16,98	13,83	21,79	8,49
2450542	7	Fmk	0,84	70,83	73,82	71,24	67,75	55,77	n.b.	48,51	n.b.	n.b.	13,22	n.b.	94,20	0,57	2,58	22,25	77,75	67,75	13,22	53,65	10,00	6,08	19,24	35,29	13,22
2450549	2	Fhg	2,23	86,32	90,50	88,56	85,36	82,83	n.b.	80,48	n.b.	n.b.	62,07	n.b.	46,95	0,19	1,57	12,35	87,65	85,36	62,07	22,45	2,29	5,15	4,88	18,09	62,39
2450549	3	Fhg	2,56	88,68	92,89	90,47	85,47	82,05	n.b.	79,32	n.b.	n.b.	45,20	n.b.	39,75	0,16	1,53	10,49	89,51	85,47	45,20	40,27	4,04	7,41	6,16	32,52	46,80
2450549	4	Fhg	2,47	89,28	95,27	92,04	85,38	78,84	n.b.	72,69	n.b.	n.b.	50,47	n.b.	37,29	0,14	1,57	9,20	90,80	85,38	50,47	35,89	5,42	9,90	12,69	21,90	50,79
2450549	5	Fhg	1,73	90,02	94,14	90,59	82,42	70,50	n.b.	60,08	n.b.	n.b.	18,19	n.b.	49,70	0,17	1,68	10,12	89,88	82,42	18,19	63,91	7,46	11,72	22,34	41,89	18,19
2450550	2	Fhg	2,37	69,99	82,57	82,31	81,47	80,37	n.b.	78,09	n.b.	n.b.	62,37	n.b.	12,20	0,33	1,42	23,26	76,74	81,47	62,37	18,17	-4,73	1,10	3,38	15,72	62,37
2450551	1	Fhg	2,71	64,51	77,81	70,76	66,47	60,74	n.b.	56,46	n.b.	n.b.	36,30	n.b.	39,20	0,37	1,73	21,58	78,42	66,47	36,30	29,72	11,95	11,34	10,02	20,16	36,30

Anhang 8: Physikalische Bodenparameter

Profilnr.	Hori- zontnr.	Sub- strat	EWZ	frisch	pF1.0	pF1.5	pF1.8	pF2.0	pF2.2	pF2.5	pF2.8	pF3.0	pF4.2	pF4.7	Glüh- rück- stand [%]	TRD [g/cm³]	Rein- dichte [g/cm³]	SV [Vol.-%]	GVP [Vol.-%]	FK [Vol.-%]	TW [Vol.- %]	nFK [Vol.-%]	LK [Vol.-%]	GPV Weit [Vol.-%]	GPV Eng [Vol.-%]	MPV [Vol.-%]	FPV [Vol.-%]
2450551	2	Fhg	2,49	78,30	81,34	80,46	79,15	76,13	n.b.	71,57	n.b.	n.b.	48,21	n.b.	54,00	0,38	1,47	25,94	74,06	79,15	48,21	31,48	-5,09	2,19	7,57	23,36	48,21
2450551	4	Fhg	2,80	84,84	89,30	87,24	84,06	77,76	n.b.	65,68	n.b.	n.b.	32,35	n.b.	33,60	0,33	1,87	17,62	82,38	84,06	32,35	51,35	-1,68	5,36	18,37	33,33	32,35
2450552	5	Fmk	0,90	77,31	78,64	76,46	73,44	66,19	n.b.	56,46	n.b.	n.b.	36,75	n.b.	90,70	0,51	2,41	21,35	78,65	73,44	36,75	36,96	5,21	5,20	16,98	19,71	36,75
2450552	6	Fmk	1,08	79,39	80,11	77,69	73,16	65,09	n.b.	58,41	n.b.	n.b.	23,00	n.b.	92,00	0,53	2,53	20,99	79,01	73,16	23,00	51,75	5,85	6,96	14,75	35,41	23,00
2450552	7	Fmk	0,96	81,23	81,04	77,86	72,56	63,49	n.b.	55,47	n.b.	n.b.	14,59	n.b.	92,90	0,54	2,58	20,87	79,13	72,56	14,59	57,20	6,57	8,47	17,10	40,88	14,59
2450553	3	Fmk	0,91	73,55	78,92	76,49	74,12	69,09	n.b.	57,57	n.b.	n.b.	28,02	n.b.	92,90	0,57	2,52	23,20	76,80	72,88	28,02	29,40	3,92	4,80	16,55	29,55	28,02
2450553	4	Fmk	1,04	78,42	81,17	78,24	73,79	66,20	n.b.	53,14	n.b.	n.b.	31,30	n.b.	92,10	0,53	2,52	21,10	78,90	73,79	31,30	42,49	5,11	7,38	20,65	21,84	31,30
2450553	5	Fmk	1,24	80,18	82,13	78,36	73,55	65,67	n.b.	54,50	n.b.	n.b.	18,94	n.b.	91,20	0,47	2,55	18,64	81,36	73,55	18,94	54,61	7,82	8,58	19,05	35,56	18,94
2450553	6	Fmk	0,85	76,39	77,12	73,96	70,16	64,22	n.b.	48,19	n.b.	n.b.	11,83	n.b.	94,30	0,58	2,58	22,52	77,48	70,16	11,83	58,57	7,32	6,96	21,97	36,36	11,83
2450568	2	Fmu	0,51	n.b.	n.b.	n.b.	56,05	n.b.	n.b.	49,75	n.b.	n.b.	36,62	n.b.	91,10	1,04	2,53	40,45	59,55	56,05	36,62	19,43	3,50	n.b.	6,30	13,14	36,62
2450568	3	Fmu	0,54	n.b.	n.b.	n.b.	52,70	n.b.	n.b.	44,83	n.b.	n.b.	43,53	n.b.	n.b.	1,16	2,56	45,44	54,56	52,70	43,53	9,17	1,86	n.b.	7,87	1,30	43,53
2450568	8	Fmu	0,31	n.b.	n.b.	n.b.	45,17	n.b.	n.b.	36,33	n.b.	n.b.	42,07	n.b.	87,04	1,60	2,84	56,34	43,66	45,17	42,07	3,10	-1,50	n.b.	8,83	-5,74	42,07
2450570	5	Fmu	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	47,40	n.b.	n.b.	40,57	n.b.	n.b.	42,00	n.b.	n.b.	1,54	2,62	58,78	41,22	47,40	42,00	5,40	-6,18	n.b.	6,83	-1,43	42,00
2450572	1	Fmu	0,58	n.b.	n.b.	n.b.	59,10	n.b.	n.b.	57,03	n.b.	n.b.	25,40	n.b.	88,40	0,97	2,38	40,62	59,38	59,10	25,40	33,70	0,28	n.b.	2,07	31,63	25,40
2450572	3	Fmk	0,40	n.b.	n.b.	n.b.	44,20	n.b.	n.b.	44,23	n.b.	n.b.	20,73	n.b.	n.b.	1,32	2,60	50,77	49,23	44,20	20,73	23,47	5,03	n.b.	-0,03	23,50	20,73
2450572	4	Fmk	0,55	n.b.	n.b.	n.b.	49,57	n.b.	n.b.	49,57	n.b.	n.b.	32,23	n.b.	92,70	1,24	2,66	46,74	53,26	49,57	32,23	17,33	3,69	n.b.	0,00	17,34	32,23

Anhang 9: Trockenrohdichte, Substanzvolumen, Glühverlust

Profilnr.	Hori- zontnr.	Substrat	SV in %	TRD in g/cm ³	GV in %	Profilnr.	Hori- zontnr.	Substrat	SV in %	TRD in g/cm ³	GV in %
2410007	1	Mw	52,91	1,40	n.b.	2450568	8	Fmu	56,34	1,60	12,96
2410007	2	Mw	49,80	1,32	n.b.	2450570	1	Fmu	51,62	1,33	18,91
2410007	3	Mw	65,45	1,73	n.b.	2450570	2	Fmu	44,07	1,14	13,57
2410120	3	Fms	53,41	1,42	0,40	2450570	5	Fmu	58,78	1,54	n.b.
2410131	1	Fmu	32,57	0,86	14,20	2450501	2	Fhg	23,09	0,44	44,02
2410172	2	Fmk	30,81	0,77	6,80	2450501	3	Fhg	14,06	0,27	45,28
2410198	4	Fmk	23,83	0,54	18,60	2450502	2	Fhg	19,86	0,35	63,29
2410203	1	Fkk	33,85	0,88	n.b.	2450502	3	Fhg	18,39	0,33	57,66
2410203	2	Fkk	48,46	1,26	n.b.	2450502	4	Fhg	10,29	0,18	65,32
2410204	2	Fkk	48,46	1,26	n.b.	2450503	2	Fhg	25,29	0,50	35,89
2420110	5	Fmu	55,61	1,47	1,10	2450503	3	Fhg	11,27	0,20	60,88
2420254	3	Mw	40,35	0,90	n.b.						
2420254	4	Mw	31,95	0,72	n.b.						
2420255	4	Fmk	38,10	0,86	18,60						
2430070	3	Fmk	42,89	1,04	16,90						
2430077	6	Fmk	34,30	0,81	9,30						
2450513	1	Fmk	31,55	0,66	24,78						
2450513	2	Fmk	33,35	0,74	10,62						
2450513	3	Fmk	26,20	0,56	18,34						
2450513	5	Fmk	22,51	0,49	14,37						
2450511	1	Fmk	28,96	0,64	11,07						
2450511	2	Fmk	27,97	0,61	15,33						
2450542	2	Fmk	25,66	0,60	10,90						
2450542	4	Fmk	21,82	0,56	7,90						
2450542	5	Fmk	23,29	0,61	3,80						
2450542	6	Fmk	21,62	0,57	3,70						
2450542	7	Fmk	22,25	0,57	5,80						
2450541	7	Fms	48,95	1,33	2,10						
2450541	3	Fmk	28,42	0,70	6,60						
2450541	4	Fmk	25,37	0,65	5,80						
2450541	5	Fmk	33,63	0,92	5,00						
2450541	6	Fmk	40,38	1,10	4,60						
2450551	1	Fhg	21,58	0,37	60,80						
2450551	2	Fhg	25,94	0,38	54,00						
2450551	4	Fhg	17,62	0,33	33,60						
2450549	1	Fhg	13,01	0,20	40,60						
2450549	2	Fhg	11,23	0,17	65,50						
2450549	4	Fhg	9,80	0,15	64,00						
2450549	5	Fhg	10,12	0,17	50,30						
2450550	2	Fhg	23,26	0,33	87,80						
2450549	2	Fhg	11,70	0,18	65,50						
2450549	3	Fhg	9,75	0,15	55,00						
2450549	4	Fhg	8,40	0,13	61,00						
2450552	5	Fmk	21,35	0,51	9,30						
2450552	6	Fmk	20,99	0,53	8,00						
2450552	7	Fmk	20,87	0,54	7,10						
2450553	3	Fmk	23,20	0,57	7,10						
2450553	4	Fmk	21,10	0,53	7,90						
2450553	5	Fmk	18,64	0,47	8,80						
2450553	6	Fmk	22,52	0,58	5,70						
2450572	1	Fmu	40,62	0,97	11,60						
2450572	3	Fmk	50,77	1,32	n.b.						
2450572	4	Fmk	46,74	1,24	7,30						
2450568	2	Fmu	40,45	1,04	8,90						
2450568	3	Fmu	45,44	1,16	n.b.						

Anhang 10: Physikalische Analysen zur Computertomographie

Ziethener Seebruch, HEMatrix-Berechnung, WM und TRD aus Proben 23.01.02

	Probe 53	Probe 54	Probe 89	Probe 4
Substanz				
dichte, g/cm³	2,000	1,930	1,930	1,870
FD	1,067	1,077	1,046	1,021
TRD, g/cm³	0,350	0,313	0,257	0,213
wg, g/g	2,058	2,492	3,136	3,887
wv, cm³/cm³	0,720	0,780	0,806	0,828
sv, cm³/cm³	0,175	0,162	0,133	0,114
av, cm³/cm³	0,105	0,058	0,061	0,058
HE MW	191,011	180,332	145,479	112,717
He-Matrix	1695,613	1468,523	1549,755	1500,231

He_Matrix Berechnung für Ziethener Seebruch, Probenahme am 13.11.2001 Detritusmudde
nur mit 120 kV gescant CT am 15.12.01

5 mm-Roi's

Tiefe, cm	Probe 53		Probe 54		Probe 4		Probe 89	
	He 120	SD	He 120	SD	He 120	SD	He 120	SD
5	168,9	154,95	214,9	114,88	171,1	73,64	197,9	101,59
10	188,3	141,03	236,4	41,18	142,8	76,08	178	115,7
15	211,7	133,06	238,5	68,37	134,3	75,87	162,7	149,77
20	232,5	138,55	239,6	74,05	135,1	81,24	166,1	163,31
25	233,2	145,97	233,6	89,8	134,7	84,54	168,7	160,13
30	234,5	161,7	217,2	94,46	125,8	110,73	199,7	168,55
35	227,8	173,93	202	103,87	121,5	124,65	158,8	171,55
40	209,6	181,58	191	121,37	117,7	122,33	164,7	144,05
45	190,1	187,99	173,1	136,49	101,6	134,54	158,4	155,13
50	160	207,21	146,9	151,19	96,7	122,93	140	153,14
55	159,4	200,39	139,8	153,76	87,8	128,93	122,9	134,77
60	168,9	178,91	155,7	135,41	97,9	98,23	127,9	93,67
65	188	159,4	158,1	138,75	107,5	70,77	135,5	80,86
70	207	155,78	154,9	141,17	104,4	53,05	131,8	87,92
75	208,2	154,98	151	135,94	95,4	53,33	121,5	81,36
80	185,8	158,12	146,9	129,62	89,1	47,86	110,5	55,95
85	163,3	174,53	148,5	116,43	87,1	52,07	112,6	47,99
90	157,5	178,91	147,6	105,8	78,4	62,91	108,4	53,2
95	134,5	200,4	130,6	110,33			98	56,53
Mittel	191,01	167,76	180,33	113,84	112,72	87,43	145,48	114,48

Anhang 11: Statistik der Hauptkomponentenanalyse

Kommunalitäten, Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

	Anfänglich	Extraktion
pH CaCl ₂	1,00	0,75
GV550	1,00	0,92
Cu_ICP	1,00	0,90
LOI	1,00	0,94
SiO ₂ _RFA	1,00	0,92
TiO ₂ _RFA	1,00	0,98
Al ₂ O ₃ _RFA	1,00	0,98
Fe ₂ O ₃ _RFA	1,00	0,89
MnO_RFA	1,00	0,70
MgO_RFA	1,00	0,66
CaO_RFA	1,00	0,93
Na ₂ O_RFA	1,00	0,93
K ₂ O_RFA	1,00	0,97
P ₂ O ₅ _RFA	1,00	0,88
SO ₃ _RFA	1,00	0,62
F_RFA	1,00	0,47
Cl_RFA	1,00	0,14
As_RFA	1,00	0,74
Cr_RFA	1,00	0,89
Cu_RFA	1,00	0,68
Ni_RFA	1,00	0,93
Pb_RFA	1,00	0,74
Zn_RFA	1,00	0,68
Zr_RFA	1,00	0,88

Erklärte Gesamtvarianz, Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Komponente	Anfängliche Eigenwerte			Summen von quadrierten Faktorladungen für Extraktion			Rotierte Summe der quadrierten Ladungen		
	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierte %	Gesamt	% der Varianz	Kumulierter %
1	10,91	45,48	45,48	10,91	45,48	45,48	8,68	36,18	36,18
2	2,93	12,21	57,69	2,93	12,21	57,69	3,64	15,16	51,34
3	2,27	9,48	67,17	2,27	9,48	67,17	2,38	9,91	61,24
4	1,78	7,41	74,58	1,78	7,41	74,58	2,32	9,67	70,91
5	1,22	5,08	79,65	1,22	5,08	79,65	2,10	8,74	79,65
6	1,00	4,16	83,81						
7	0,93	3,87	87,68						
8	0,59	2,44	90,12						
9	0,54	2,25	92,37						
10	0,46	1,93	94,30						
11	0,38	1,59	95,89						
12	0,31	1,30	97,19						
13	0,20	0,82	98,00						
14	0,12	0,49	98,50						
15	0,10	0,40	98,90						
16	0,08	0,33	99,23						
17	0,07	0,30	99,52						
18	0,06	0,23	99,76						
19	0,03	0,11	99,87						
20	0,02	0,10	99,96						
21	0,00	0,02	99,98						
22	0,00	0,02	100,00						
23	0,00	0,00	100,00						
24	0,00	0,00	100,00						

Anhang 11: Statistik der Hauptkomponentenanalyse

Komponentenmatrix (5 Komponenten extrahiert), * Einheiten siehe Anhang 3

Parameter*	HK1	HK2	HK3	HK4	HK5
pH CaCl ₂	-0,61	0,57	0,11	0,21	-0,05
GV550	0,57	-0,32	0,68	-0,17	-0,04
Cu_ICP	0,91	-0,04	0,22	0,15	-0,03
LOI	-0,26	-0,24	0,90	-0,05	-0,01
SiO ₂ _RFA	0,76	-0,06	-0,57	-0,12	-0,06
TiO ₂ _RFA	0,91	0,34	0,15	-0,03	0,05
Al ₂ O ₃ _RFA	0,93	0,33	0,08	-0,02	0,02
Fe ₂ O ₃ _RFA	0,75	-0,39	-0,21	0,19	0,32
MnO_RFA	-0,39	0,08	-0,06	0,59	0,43
MgO_RFA	0,06	0,76	0,23	0,07	0,14
CaO_RFA	-0,93	0,20	0,04	0,17	0,04
Na ₂ O_RFA	0,85	0,42	-0,16	-0,06	0,04
K ₂ O_RFA	0,90	0,40	0,01	-0,05	0,03
P ₂ O ₅ _RFA	0,57	-0,64	0,01	0,38	0,03
SO ₃ _RFA	-0,29	0,18	0,37	0,01	0,61
F_RFA	-0,54	0,08	0,03	0,42	-0,03
Cl_RFA	0,04	0,22	-0,20	-0,14	-0,17
As_RFA	0,42	-0,57	-0,23	0,20	0,39
Cr_RFA	0,91	0,19	0,13	0,13	0,01
Cu_RFA	-0,08	0,31	-0,13	0,72	-0,22
Ni_RFA	0,91	0,12	0,25	-0,05	0,11
Pb_RFA	0,68	-0,19	0,07	0,34	-0,35
Zn_RFA	0,50	-0,06	0,33	0,45	-0,34
Zr_RFA	0,84	0,32	-0,15	0,01	0,19

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotierte Komponentenmatrix, * Einheiten siehe Anhang 3

Parameter*	HK1	HK2	HK3	HK4	HK5
pH CaCl ₂	-0,24	-0,65	0,49	0,03	-0,15
GV550	0,42	0,23	-0,44	0,65	0,25
Cu_ICP	0,79	0,34	-0,12	0,16	0,36
LOI	-0,20	-0,16	-0,12	0,93	0,05
SiO ₂ _RFA	0,52	0,42	-0,29	-0,60	0,17
TiO ₂ _RFA	0,97	0,05	-0,13	0,00	0,14
Al ₂ O ₃ _RFA	0,96	0,08	-0,13	-0,07	0,16
Fe ₂ O ₃ _RFA	0,49	0,80	-0,04	-0,09	0,07
MnO_RFA	-0,21	0,13	0,75	0,08	-0,27
MgO_RFA	0,46	-0,54	0,31	0,07	-0,22
CaO_RFA	-0,68	-0,44	0,44	0,08	-0,26
Na ₂ O_RFA	0,90	0,04	-0,10	-0,31	0,07
K ₂ O_RFA	0,96	0,02	-0,12	-0,15	0,11
P ₂ O ₅ _RFA	0,20	0,80	0,00	0,15	0,41
SO ₃ _RFA	0,00	-0,09	0,26	0,44	-0,60
F_RFA	-0,41	-0,17	0,51	0,08	0,03
Cl_RFA	0,07	-0,21	-0,09	-0,28	0,04
As_RFA	0,14	0,85	0,00	-0,03	-0,04
Cr_RFA	0,89	0,19	-0,05	0,02	0,26
Cu_RFA	0,03	-0,14	0,71	-0,17	0,36
Ni_RFA	0,89	0,21	-0,22	0,16	0,13
Pb_RFA	0,45	0,32	-0,01	0,03	0,66
Zn_RFA	0,39	0,12	0,16	0,27	0,64
Zr_RFA	0,88	0,18	-0,03	-0,25	-0,01

Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse.

Rotationsmethode: Varimax mit Kaiser-Normalisierung.

Anhang 12a: Anzahl der Datensätze (Substrat-Horizont-Gruppe) für die verschiedenen Parameter

SHK	n KAKpot	SHK	n pH, CaCO ₃ , TC, GV	SHK	n KAKpot	SHK	n pH, CaCO ₃ , TC, GV
erF-Gr:fl-Fmk	39	erFr-Gr:fl-Fmk	102	rFr-Ah-rGo:fl-Fmu	1	rFr-Ah:fl-Fms	1
erFr-Go:fl-Fmk	31	rFr-Gr:og-Fhg	44	rFo-Go:fl-Fh	1	rFr-Ah:Fmu	1
erFr-Gr:fl-Fmk	13	erFr-Go:fl-Fmk	39	rF-rGr:fl-Fmu	1	rFr-Go:fl-Fm	1
rFr-Go:og-Fhg	11	rFr-Go:fl-Fmk	38	eSw-rGo-rAp:fl-eFmu1		rFr-Go:fl-Fmt	1
rFr-Gr:og-Fhg	10	rFr-Go:og-Fh	38	erFr-rGo:fl-Fmk	1	rFr-Gor:fl-Fms	1
rFr-Ap:fl-Fmi	5	rFr-Go:fl-Fmi	14	erFr-rGo:fl-eFmu	1	rFr-Gr:fl-Fmt	1
rFr-Gr:fl-Fmu	5	rFr-Ah:og-Hnr	13	erFr-Gso:fl-Fms	1	rFr-Gr:og-Fhh	1
erFr-Gro:fl-Fmk	4	rFr-Gr:og-Fh	11	erFr-Sd-rGo:fl-Fmk	1	rFr-rGo-Ah:fl-Fmu	1
rFr-Gr:fl-Fmi	3	rFr-Go:og-Fhg	8	erFr-Sd-rGo:fl-Fmk	1	rFr-Sd-Go:fl-Fmu	1
rFr-Ap:Fms	3	erFr-Gr:fl-Fmu	7	erFr-Sd-Go:fl-eFmu	1	rFro-Go:og-Fh	1
rFr-Gr:fl-Fh	3	rFr-Go:fl-Fmu	6	R+rFr-Go:fl-Fmu	1	rFr-Ah:fl-Fm	1
rFr-Go:fl-Fmu	3	rFr-Gr:fl-Fmu	6				
rFr-Go:fl-Fh	2	erFr-Gro:fl-Fmk	4				
erFr-rAp:fl-Fmk	2	rFr-Ah:fl-Fmu	4				
Hm	2	rFr-Gr:fl-Fmi	4				
erFr-Gr:fl-eFmu	2	rFr-Gr:fl-Fms	4				
rFr-rAp:fl-Fmu	2	erFr-A:fl-Fmk	3				
erF-Go:fl-eFm	2	erFr-Gr:fl-eFmu	3				
erF-Gr:fl-eFmu	2	rFr-Ah:Fms	3				
rFr-rGr:fl-Fmt	2	rFr-Go:og-Fhgi	3				
erFr-Go:fl-eFmu	2	erFr-A:fl-eFmu	2				
rFr-Ap-Go:fl-Fmu	2	erFr-Ah:fl-eFms	2				
rFr-Ap:fl-Fmu	2	erFr-Go:fl-eFm	2				
rFr-Go:fl-Fms	1	erFr-Go:fl-eFmu	2				
rFr-Ah:fl-Fm	1	erFr-rAh:fl-Fmk	2				
rFr-Ap-Go:fl-Fms	1	rFr-Ah-Go:fl-Fmu	2				
rFr-Go:fl-Fmi	1	rFr-Ah:fl-Fmi	2				
rFr-rGo-Ap:fl-Fmu	1	rFr-Go:fl-Fms	2				
rFr-rAp:fl-Fms	1	rFr-Gr:fl-Fm	2				
rFr-Gr:fl-Fmt	1	rFr-rGo:fl-Fmu	2				
rFr-Sd-Go:fl-Fmu	1	rFr-rGr:fl-Fmt	2				
rFr-rGo:fl-Fmu	1	rFr-rGr:fl-Fmu	2				
rFr-Gr:fl-Fms	1	arFr-Gr:og-Fh	1				
rFr-Gor:fl-Fms	1	erFr-Go:fl-eFms	1				
rFr-Go:fl-Fmt	1	erFr-Go:fl-Fmu	1				
rFr-Gr:fl-Fm	1	erFr-Gor:fl-eFmu	1				
rFr-Gr:fl-Fhh	1	erFr-Gor:fl-Fmk	1				
erFr-Go:fl-eFms	1	erFr-Gr:fl-eFh	1				
erFr-Go-rAp:fl-eFms1		erFr-Gr:fl-eFhh	1				
erFr-Go-Ap:fl-Fmk	1	erFr-Gr:fl-Fmi	1				
erFr-Gr:fl-eFhh	1	erFr-Gr:fl-Fms	1				
erFr-Gor:fl-Fmk	1	erFr-Gr:og-Fh	1				
erFr-Gor:fl-eFmu	1	erFr-Gso:fl-Fms	1				
erFr-Go-Ap:fl-eFms	1	erFr-rGo:fl-eFmu	1				
eFr-Ap:fl-Fmk	1	erFr-rGo:fl-Fmk	1				
eFr-Ap:fl-eFmu	1	erFr-Sd-Go:fl-eFmu1					
eFhr-Gr:fl-eFh	1	erFr-Sd-rGo:fl-Fmk1					
erFr-Aa:fl-eFmu	1	erFr-Sd-rGo:fl-Fmi1					
erFo-Gr:fl-eFms	1	erFro-Gr:fl-eFms	1				
erF-Gr:fl-eFh	1	eSw-rGo-rAh:fl-eFr1					
rF-rGo:fl-Fmu	1	rFr-Ah-Go:fl-Fms	1				
rF-Gr:fl-Fms	1	rFr-Ah-rGo:fl-Fmu	1				

Anhang 12b: Statistische Kennwerte für Substratarten

Substrat = Fh		pHCaCl2	pHH2O	TC [%]	CaCO3 [%]	GV550 [%]	KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	16	16	16	6	16	8
Mittelwert		5,6	5,84	20,74	26,68	38,61	49,39
Median		5,35	5,6	19,76	3,85	34,02	51,95
Standardabweichung		1,54	1,55	12,05	37,65	25,69	29,05
Varianz		2,39	2,41	145,2	1417,6	659,75	844,05
Spannweite		4,74	4,76	44,53	76,1	84,6	79
Minimum		3,06	3,24	1,46	1	2,7	4
Maximum		7,8	8	45,99	77,1	87,3	83
Perzentile	25	4,33	4,8	12,16	1	18,1	23,05
	50	5,35	5,6	19,76	3,85	34,02	51,95
	75	6,9	7,18	30,26	74,25	55,7	74,3
	Qi 75-25	2,58	2,38	18,1	73,25	37,6	51,25

Fhg		pHCaCl2	pHH2O	TC [%]	CaCO3 [%]	GV550 [%]	KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	20	79	20	79	88	21
Mittelwert		6,55	6,25	25,4	1,02	59,31	60,99
Median		6,5	6,25	24,99	0,3	56,41	56,33
Standardabweichung		0,72	0,6	6,35	1,97	18,01	15,67
Varianz		0,51	0,36	40,28	3,87	324,41	245,54
Spannweite		3,3	3,72	27,7	10,2	81,98	61
Minimum		4,3	3,98	14,12	0	9,82	36
Maximum		7,6	7,7	41,82	10,2	91,8	96
Perzentile	25	6,2	5,94	20,65	0,16	49,57	50,44
	50	6,5	6,25	24,99	0,3	56,41	56,33
	75	7,15	6,52	29,21	0,5	71,58	71,62
	Qi 75-25	0,95	0,58	8,56	0,34	22,01	21,18

Fhh		pHCaCl2	pHH2O	TC [%]	CaCO3 [%]	GV550 [%]	KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	2	1	2	1	1	2
Mittelwert		5,85	6,8	4,8	0	0,5	24,75
Median		5,85	6,8	4,8	0	0,5	24,75
Standardabweichung		0,49		6,51			32,46
Varianz		0,25		42,32			1053,41
Spannweite		0,7	0	9,2	0	0	46
Minimum		5,5	6,8	0,2	0	0,5	2
Maximum		6,2	6,8	9,4	0	0,5	48
Perzentile	25	5,5	6,8	0,2	0	0,5	1,8
	50	5,85	6,8	4,8	0	0,5	24,75
	75	6,2	6,8	9,4	0	0,5	47,7
	Qi 75-25	0,7	0	9,2	0	0	45,9

Fm		pHCaCl2	pHH2O	TC [%]	CaCO3 [%]	GV550 [%]	KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	6	6	6	3	6	4
Mittelwert		6,18	6,51	6,62	27,83	10,89	20,29
Median		6,15	6,6	6,51	1	13,85	16,9
Standardabweichung		1,2	1,25	5,98	46,48	8,24	21,29
Varianz		1,44	1,56	35,78	2160,08	67,95	453,4
Spannweite		2,5	2,5	15,31	80,5	17,63	44
Minimum		4,9	5,2	0,24	1	0,6	2
Maximum		7,4	7,7	15,55	81,5	18,23	45
Perzentile	25	5,1	5,23	0,32	1	0,75	2,28
	50	6,15	6,6	6,51	1	13,85	16,9
	75	7,33	7,7	11,82	81,5	18,06	41,71
	Qi 75-25	2,22	2,47	11,49	80,5	17,31	39,43

Anhang 12b: Statistische Kennwerte für Substratarten

Fmi		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]	KAK _{pot} /KAK _{eff} [cmol/kg]
N	Gültig	13	21	13	9	22	10
Mittelwert		5,75	4,88	8,25	0,1	20,6	32,03/17,95
Median		5,9	4,84	7,96	0,09	20,39	32,25/19,09
Standardabweichung		0,44	0,53	3,32	0,04	9,14	7,382/3,08
Varianz		0,2	0,28	11,05	0	83,62	54,5/9,52
Spannweite		1,4	2,01	12,77	0,12	35,78	23
Minimum		4,9	3,79	1,06	0,05	2	20/9,52
Maximum		6,3	5,8	13,83	0,17	37,78	43/13,13
Perzentile	25	5,5	4,65	6,26	0,08	13,7	26,13
	50	5,9	4,84	7,96	0,09	20,39	32,25
	75	6,1	5,27	10,78	0,13	26,6	39,3
	Qi 75-25	0,6	0,63	4,52	0,05	12,9	13,17

Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]	KAK _{pot} [cmol/kg]
N	Gültig	125	183	141	180	180	94
Mittelwert		7,87	7,63	13,86	62,31	13,05	21,47
Median		7,9	7,6	14,24	72,4	11,49	17,55
Standardabweichung		0,36	0,42	5,04	25,79	9,16	14,17
Varianz		0,13	0,18	25,4	665,37	83,82	200,84
Spannweite		2,9	3,6	33,43	93,7	63,4	85
Minimum		5,6	5,1	0,69	5,7	2,1	3
Maximum		8,5	8,7	34,12	99,4	65,5	88
Perzentile	25	7,7	7,49	12,6	40,48	6,85	12,62
	50	7,9	7,6	14,24	72,4	11,49	17,55
	75	8,1	7,8	16,19	83,5	16,6	27,47
	Qi 75-25	0,4	0,31	3,59	43,02	9,75	14,85

Fms		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]	KAK _{pot} [cmol/kg]
N	Gültig	18	20	18	13	20	14
Mittelwert		6,52	6,93	3,9	5,78	7,5	22,08
Median		6,6	7,29	3,01	1,15	6,1	18,49
Standardabweichung		1,2	1,12	5,46	8,53	8,79	19,56
Varianz		1,43	1,25	29,87	72,68	77,24	382,73
Spannweite		4,2	4,2	24,51	27,2	39,2	69
Minimum		4	4,1	0,1	1	0,4	1
Maximum		8,2	8,3	24,61	28,2	39,6	70
Perzentile	25	5,85	6,65	1,17	1	1,05	5,36
	50	6,6	7,29	3,01	1,15	6,1	18,49
	75	7,5	7,65	4,14	7,18	9,33	28,7
	Qi 75-25	1,65	1	2,97	6,18	8,28	23,34

Fmt		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC	CaCO ₃	GV550	KAK _{pot}
N	Gültig	4	3	4	3	3	4
Mittelwert		5,66	6,58	3,92	0,67	5,69	30,9
Median		5,85	6,85	3,58	1	5,2	25,6
Standardabweichung		1	0,69	3,58	0,58	5,28	26,19
Varianz		1	0,48	12,8	0,33	27,9	685,89
Spannweite		2,12	1,3	8,25	1	10,53	62
Minimum		4,4	5,8	0,13	0	0,67	5
Maximum		6,52	7,1	8,38	1	11,2	67
Perzentile	25	4,63	5,8	0,64	0	0,67	9,23
	50	5,85	6,85	3,58	1	5,2	25,6
	75	6,49	7,1	7,53	1	11,2	57,88
	Qi 75-25	1,87	1,3	6,89	1	10,53	48,65

Anhang 12b: Statistische Kennwerte für Substratarten

Fmu		pHCaCl2	pHH2O	TC [%]	CaCO3 [%]	GV550 [%]	KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	38	44	37	31	44	33
Mittelwert		6,58	7,09	5,1	10,84	9,82	26,93
Median		7	7,46	2,29	2,5	8,65	21,7
Standardabweichung		1,14	1,15	6,05	21,1	9,87	21,02
Varianz		1,29	1,32	36,56	445,32	97,48	441,76
Spannweite		4,4	5,3	28,15	80,6	55,7	76
Minimum		3,5	3,4	0,09	0	0,3	2
Maximum		7,9	8,7	28,24	80,6	56	78
Perzentile	25	5,68	6,3	1,41	1	3,18	6,75
	50	7	7,46	2,29	2,5	8,65	21,7
	75	7,53	7,88	5,99	9,99	12,94	42,6
	Qi 75-25	1,85	1,58	4,59	8,99	9,76	35,85

Anhang 12c: Statistische Kennwerte für Substratobergruppen

Fh		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]	KAK _{pot} [cmol/kg]
N	Gültig	38	96	38	86	105	31
Mittelwert		6,11	6,19	22,36	2,8	55,6	55,66
Median		6,4	6,24	21,71	0,32	54,56	55,31
Standardabweichung		1,21	0,84	10,17	11,41	21,26	22,13
Varianz		1,46	0,7	103,51	130,25	451,83	489,8
Spannweite		4,74	4,76	45,79	77,1	91,3	95
Minimum		3,06	3,24	0,2	0	0,5	2
Maximum		7,8	8	45,99	77,1	91,8	96
Perzentile	25	5,43	5,77	16,85	0,17	43,18	45,16
	50	6,4	6,24	21,71	0,32	54,56	55,31
	75	7	6,7	29,1	0,96	69,71	72,21
	Qi 75-25	1,58	0,94	12,25	0,8	26,54	27,05

Fm		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]	KAK _{pot} [cmol/kg]
N	Gültig	204	277	219	239	275	159
Mittelwert		7,28	7,25	10,85	49,01	12,6	23,53
Median		7,7	7,57	12,92	56,5	10,6	19,5
Standardabweichung		1,04	1	6,6	33,61	9,61	16,59
Varianz		1,09	1,01	43,54	1129,6	92,27	275,26
Spannweite		5	5,3	34,03	99,4	65,2	86
Minimum		3,5	3,4	0,09	0	0,3	1
Maximum		8,5	8,7	34,12	99,4	65,5	88
Perzentile	25	7	7,25	4,49	14,24	5,9	12,61
	50	7,7	7,57	12,92	56,5	10,6	19,5
	75	8	7,7	15,11	80,7	16,6	31,4
	Qi 75-25	1	0,46	10,62	66,46	10,7	18,79

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Gr:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	66	97	75	96	95
Mittelwert		7,96	7,57	13,85	65,78	12,09
Median		8	7,6	14,47	75,95	10,6
Standardabweichung		0,41	0,39	5,07	26,57	8,29
Varianz		0,17	0,16	25,71	706,15	68,8
Spannweite		2,9	3,3	30,3	92,5	57,8
Minimum		5,6	5,1	1,4	6,9	1,5
Maximum		8,5	8,4	31,7	99,4	59,3
Perzentile	25	7,8	7,5	12,6	46,5	5,86
	50	8	7,6	14,47	75,95	10,6
	75	8,2	7,7	16,43	86,05	15,6
	Qi 75-25	0,4	0,2	3,83	39,55	9,74

rF-Gr:og-Fhg		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	11	38	11	41	44
Mittelwert		6,72	6,29	25,73	1,86	62,94
Median		7	6,26	24,73	0,31	58,03
Standardabweichung		0,93	0,6	5,13	4,43	18,65
Varianz		0,87	0,36	26,32	19,62	347,8
Spannweite		3,3	2,7	16,35	25,4	81,98
Minimum		4,3	5	18,16	0	9,82
Maximum		7,6	7,7	34,51	25,4	91,8
Perzentile	25	6,4	5,93	21,43	0,15	50,3
	50	7	6,26	24,73	0,31	58,03
	75	7,4	6,64	31,42	1,2	84,36
	Qi 75-25	1	0,71	9,99	1,05	34,06

rF-Go:og-Fh		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	12	35	12	32	38
Mittelwert		6,65	6,4	23,36	1,57	50,3
Median		6,5	6,27	25,93	0,33	53,14
Standardabweichung		0,56	0,59	11,41	3,93	18,15
Varianz		0,31	0,35	130,3	15,42	329,39
Spannweite		1,7	2,33	40,36	21	85,1
Minimum		5,9	5,47	1,46	0	2,7
Maximum		7,6	7,8	41,82	21	87,8
Perzentile	25	6,2	6	15,27	0,23	43,25
	50	6,5	6,27	25,93	0,33	53,14
	75	7,15	6,9	30,68	0,88	61,78
	Qi 75-25	0,95	0,9	15,41	0,65	18,53

rF-Go:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC	CaCO ₃	GV550
N	Gültig	23	38	27	35	37
Mittelwert		7,91	7,46	14,62	54,09	16,14
Median		7,9	7,43	14,24	58,57	16,06
Standardabweichung		0,19	0,21	1,9	24,75	6,74
Varianz		0,04	0,05	3,6	612,79	45,37
Spannweite		0,7	0,95	6,71	79,35	24,6
Minimum		7,6	6,85	11,17	13,25	4,5
Maximum		8,3	7,8	17,88	92,6	29,1
Perzentile	25	7,7	7,34	12,95	35,9	10,63
	50	7,9	7,43	14,24	58,57	16,06
	75	8	7,61	16,51	72,5	21,53
	Qi 75-25	0,3	0,27	3,56	36,6	10,9

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Go:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	23	36	26	36	36
Mittelwert		7,72	7,79	13,82	62,68	12,78
Median		7,65	7,7	14,49	72,85	9,97
Standardabweichung		0,34	0,38	6,37	23,11	12,51
Varianz		0,12	0,15	40,59	534	156,46
Spannweite		1,3	1,9	35,81	84,9	72,7
Minimum		7,1	6,8	0,69	4,1	2,4
Maximum		8,4	8,7	36,5	89	75,1
Perzentile	25	7,5	7,57	12,12	40,27	6,2
	50	7,65	7,7	14,49	72,85	9,97
	75	8	8,08	16,16	81,15	14,73
	Qi 75-25	0,5	0,51	4,03	40,88	8,53

rF-Go:fl-Fmi		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	6	14	6	8	14
Mittelwert		5,85	4,86	7,14	0,1	21,72
Median		6,05	4,82	7,42	0,09	21,98
Standardabweichung		0,52	0,6	3,69	0,04	10,66
Varianz		0,28	0,36	13,65	0	113,73
Spannweite		1,4	2,01	11,37	0,12	35,78
Minimum		4,9	3,79	1,06	0,05	2
Maximum		6,3	5,8	12,43	0,17	37,78
Perzentile	25	5,43	4,56	4,87	0,08	13,68
	50	6,05	4,82	7,42	0,09	21,98
	75	6,23	5,34	9,4	0,13	30,84
	Qi 75-25	0,8	0,79	4,53	0,05	17,17

rF-Ah:og-Hnr		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	1	13	3	13	13
Mittelwert		7,5	7,07	30,03	5,71	63,94
Median		7,5	7,15	32,06	2,9	70,57
Standardabweichung			0,24	7,63	7,84	15,3
Varianz			0,06	58,29	61,4	234,09
Spannweite		0	0,74	14,86	21,94	48,84
Minimum		7,5	6,64	21,59	0,41	36,45
Maximum		7,5	7,38	36,45	22,35	85,29
Perzentile	25	7,5	6,93	21,59	0,64	50,42
	50	7,5	7,15	32,06	2,9	70,57
	75	7,5	7,27	36,45	7,34	74,14
	Qi 75-25	0	0,34	14,86	6,7	23,72

rF-Gr:og-Fh		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	10	11	10	3	11
Mittelwert		4,93	5,21	25,42	2,68	52,89
Median		4,85	5,1	22,04	1,5	46,1
Standardabweichung		1,29	1,26	12,04	3,1	25,64
Varianz		1,67	1,6	145,05	9,61	657,42
Spannweite		3,84	3,86	38,74	5,85	74,2
Minimum		3,06	3,24	7,25	0,35	13,1
Maximum		6,9	7,1	45,99	6,2	87,3
Perzentile	25	3,78	4,1	16,54	0,35	30,2
	50	4,85	5,1	22,04	1,5	46,1
	75	5,85	6,16	35,17	6,2	83,21
	Qi 75-25	2,07	2,06	18,64	5,85	53,01

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

rF-Go:og-Fhg		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	8	2	7	8
Mittelwert		6,35	6,16	14,76	1,3	53,5
Median		6,35	6,32	14,76	0,36	47,79
Standardabweichung		0,49	0,87	7,93	2,31	25,37
Varianz		0,25	0,76	62,94	5,36	643,62
Spannweite		0,7	2,91	11,22	6,38	69,73
Minimum		6	4,2	9,15	0,13	20,3
Maximum		6,7	7,11	20,37	6,51	90,03
Perzentile	25	6	6,03	9,15	0,19	31,39
	50	6,35	6,32	14,76	0,36	47,79
	75	6,7	6,73	20,37	1	80,57
	Qi 75-25	0,7	0,7	11,22	0,81	49,18

erF-Gr:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	1	7	1	6	7
Mittelwert		7,7	7,51	1,89	7,16	8,71
Median		7,7	7,52	1,89	7,36	9,32
Standardabweichung			0,41		4,77	3,63
Varianz			0,17		22,72	13,14
Spannweite		0	1,3	0	12,07	11,76
Minimum		7,7	7	1,89	1,78	1,2
Maximum		7,7	8,3	1,89	13,85	12,96
Perzentile	25	7,7	7,19	1,89	2,4	8,41
	50	7,7	7,52	1,89	7,36	9,32
	75	7,7	7,62	1,89	10,96	10,47
	Qi 75-25	0	0,43	0	8,55	2,06

rF-Go:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	6	6	6	4	6
Mittelwert		6,42	6,69	4,41	1,5	11,47
Median		6,75	7	4,24	1	11,7
Standardabweichung		1,21	1,27	3,21	1	6,21
Varianz		1,45	1,62	10,27	1	38,6
Spannweite		2,8	2,95	8,9	2	18,39
Minimum		4,9	5,05	1,12	1	1,7
Maximum		7,7	8	10,02	3	20,09
Perzentile	25	4,98	5,24	1,5	1	6,88
	50	6,75	7	4,24	1	11,7
	75	7,48	7,85	6,43	2,5	16,27
	Qi 75-25	2,5	2,61	4,93	1,5	9,4

rF-Gr:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	6	5	5	4	5
Mittelwert		5,92	6,18	9,05	4,05	18,3
Median		6,05	6,7	3,51	1,35	4,1
Standardabweichung		1,49	1,76	11,78	6,34	24,27
Varianz		2,23	3,1	138,83	40,18	589,22
Spannweite		4,2	4,6	28,15	13,5	55,7
Minimum		3,5	3,4	0,09	0	0,3
Maximum		7,7	8	28,24	13,5	56
Perzentile	25	4,78	4,55	0,55	0,25	0,9
	50	6,05	6,7	3,51	1,35	4,1
	75	7,18	7,55	20,33	10,55	42,8
	Qi 75-25	2,4	3	19,78	10,3	41,9

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Gro:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	4	4	4	4	4
Mittelwert		7,7	8,3	14,43	84,29	8,88
Median		7,7	8,3	14,35	83,93	9,1
Standardabweichung		0,08	0,16	0,89	10,15	2,63
Varianz		0,01	0,03	0,79	103,12	6,92
Spannweite		0,2	0,4	2,12	24,7	6,3
Minimum		7,6	8,1	13,45	72,3	5,5
Maximum		7,8	8,5	15,57	97	11,8
Perzentile	25	7,63	8,15	13,62	74,86	6,25
	50	7,7	8,3	14,35	83,93	9,1
	75	7,78	8,45	15,32	94,08	11,28
	Qi 75-25	0,15	0,3	1,69	19,21	5,03

rF-Ah:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	4	4	4	2	4
Mittelwert		6,45	6,93	4,62	1	11,08
Median		6,5	6,95	5,09	1	11,65
Standardabweichung		0,93	0,91	1,78	0	3,6
Varianz		0,87	0,82	3,18	0	12,94
Spannweite		1,8	1,8	3,83	0	7,4
Minimum		5,5	6	2,24	1	6,8
Maximum		7,3	7,8	6,07	1	14,2
Perzentile	25	5,58	6,08	2,75	1	7,45
	50	6,5	6,95	5,09	1	11,65
	75	7,28	7,75	6,03	1	14,13
	Qi 75-25	1,7	1,68	3,28	0	6,68

rF-Gr:fl-Fms		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	4	4	4	1	4
Mittelwert		5,68	5,8	2,95	1,1	5,85
Median		5,3	5,8	3,11	1,1	6,25
Standardabweichung		1,99	1,85	2,43		4,82
Varianz		3,95	3,43	5,93		23,19
Spannweite		4,1	3,4	5,02	0	9,5
Minimum		4	4,1	0,29	1,1	0,7
Maximum		8,1	7,5	5,31	1,1	10,2
Perzentile	25	4,03	4,15	0,6	1,1	1,23
	50	5,3	5,8	3,11	1,1	6,25
	75	7,7	7,45	5,16	1,1	10,08
	Qi 75-25	3,68	3,3	4,56	0	8,85

rF-Gr:fl-Fmi		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	3	3	3	1	4
Mittelwert		5,33	4,92	11,8	0,09	22,44
Median		5,4	4,8	11,62	0,09	22,8
Standardabweichung		0,31	0,2	1,95		3,78
Varianz		0,09	0,04	3,81		14,32
Spannweite		0,6	0,35	3,89	0	8,84
Minimum		5	4,8	9,94	0,09	17,66
Maximum		5,6	5,15	13,83	0,09	26,5
Perzentile	25	5	4,8	9,94	0,09	18,62
	50	5,4	4,8	11,62	0,09	22,8
	75	5,6	5,15	13,83	0,09	25,9
	Qi 75-25	0,6	0,35	3,89	0	7,28

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Gr:fl-eFmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	3	3	3	3	3
Mittelwert		7,6	7,97	10,12	29,47	12,07
Median		7,6	8	14,58	6,8	9
Standardabweichung		0,1	0,25	8,45	44,38	13,17
Varianz		0,01	0,06	71,47	1969,37	173,46
Spannweite		0,2	0,5	15,04	79,6	25,8
Minimum		7,5	7,7	0,37	1	0,7
Maximum		7,7	8,2	15,41	80,6	26,5
Perzentile	25	7,5	7,7	0,37	1	0,7
	50	7,6	8	14,58	6,8	9
	75	7,7	8,2	15,41	80,6	26,5
	Qi 75-25	0,2	0,5	15,04	79,6	25,8

rF-Ah:Fms		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	3	3	3	1	3
Mittelwert		6,03	6,67	3,18	1	6,53
Median		5,9	6,6	3,68	1	7,3
Standardabweichung		0,42	0,31	1,11		1,78
Varianz		0,17	0,09	1,24		3,16
Spannweite		0,8	0,6	2,05	0	3,3
Minimum		5,7	6,4	1,9	1	4,5
Maximum		6,5	7	3,95	1	7,8
Perzentile	25	5,7	6,4	1,9	1	4,5
	50	5,9	6,6	3,68	1	7,3
	75	6,5	7	3,95	1	7,8
	Qi 75-25	0,8	0,6	2,05	0	3,3

rF-Go:og-Fhgi		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	0	3	0	3	3
Mittelwert			4,91		0,11	67,73
Median			5,35		0,1	71,89
Standardabweichung			0,8		0,03	13,81
Varianz			0,64		0	190,67
Spannweite			1,41		0,06	26,66
Minimum			3,98		0,08	52,32
Maximum			5,39		0,14	78,98
Perzentile	25		3,98		0,08	52,32
	50		5,35		0,1	71,89
	75		5,39		0,14	78,98
	Qi 75-25	0	1,41	0	0,06	26,66

erF-A:fl-eFmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	2	2
Mittelwert		7,25	7,75	9,57	34,45	12,55
Median		7,25	7,75	9,57	34,45	12,55
Standardabweichung		0,07	0,21	10,29	43,49	10,25
Varianz		0,01	0,05	105,85	1891,13	105,13
Spannweite		0,1	0,3	14,55	61,5	14,5
Minimum		7,2	7,6	2,29	3,7	5,3
Maximum		7,3	7,9	16,84	65,2	19,8
Perzentile	25	7,2	7,6	2,29	3,7	5,3
	50	7,25	7,75	9,57	34,45	12,55
	75	7,3	7,9	16,84	65,2	19,8
	Qi 75-25	0,1	0,3	14,55	61,5	14,5

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-A:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	3	2	3	3	2
Mittelwert		7,5	7,95	6,58	20,27	10,4
Median		7,5	7,95	6,08	12,5	10,4
Standardabweichung		0,3	0,21	4,24	19,64	7,64
Varianz		0,09	0,05	17,96	385,64	58,32
Spannweite		0,6	0,3	8,43	36,9	10,8
Minimum		7,2	7,8	2,62	5,7	5
Maximum		7,8	8,1	11,05	42,6	15,8
Perzentile	25	7,2	7,8	2,62	5,7	5
	50	7,5	7,95	6,08	12,5	10,4
	75	7,8	8,1	11,05	42,6	15,8
	Qi 75-25	0,6	0,3	8,43	36,9	10,8

erF-Ah:fl-eFms		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	2	2
Mittelwert		7,45	7,85	3,19	2,9	7,1
Median		7,45	7,85	3,19	2,9	7,1
Standardabweichung		0,07	0,07	0,25	0,57	0,42
Varianz		0,01	0,01	0,07	0,32	0,18
Spannweite		0,1	0,1	0,36	0,8	0,6
Minimum		7,4	7,8	3,01	2,5	6,8
Maximum		7,5	7,9	3,37	3,3	7,4
Perzentile	25	7,4	7,8	3,01	2,5	6,8
	50	7,45	7,85	3,19	2,9	7,1
	75	7,5	7,9	3,37	3,3	7,4
	Qi 75-25	0,1	0,1	0,36	0,8	0,6

erF-Go:fl-eFm		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	2	2
Mittelwert		7,2	7,6	0,3	1	0,7
Median		7,2	7,6	0,3	1	0,7
Standardabweichung		0,14	0,14	0,08	0	0,14
Varianz		0,02	0,02	0,01	0	0,02
Spannweite		0,2	0,2	0,11	0	0,2
Minimum		7,1	7,5	0,24	1	0,6
Maximum		7,3	7,7	0,35	1	0,8
Perzentile	25	7,1	7,5	0,24	1	0,6
	50	7,2	7,6	0,3	1	0,7
	75	7,3	7,7	0,35	1	0,8
	Qi 75-25	0,2	0,2	0,11	0	0,2

erF-Go:fl-eFmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	1	2
Mittelwert		7,25	7,85	0,61	6,4	1,25
Median		7,25	7,85	0,61	6,4	1,25
Standardabweichung		0,64	0,92	0,4		0,78
Varianz		0,41	0,85	0,16		0,61
Spannweite		0,9	1,3	0,56	0	1,1
Minimum		6,8	7,2	0,33	6,4	0,7
Maximum		7,7	8,5	0,89	6,4	1,8
Perzentile	25	6,8	7,2	0,33	6,4	0,7
	50	7,25	7,85	0,61	6,4	1,25
	75	7,7	8,5	0,89	6,4	1,8
	Qi 75-25	0,9	1,3	0,56	0	1,1

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-rAh:fl-Fmk		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	2	2
Mittelwert		7,5	8,05	13,15	69,7	9,4
Median		7,5	8,05	13,15	69,7	9,4
Standardabweichung		0,14	0,21	0,28	25,03	4,95
Varianz		0,02	0,05	0,08	626,58	24,5
Spannweite		0,2	0,3	0,4	35,4	7
Minimum		7,4	7,9	12,95	52	5,9
Maximum		7,6	8,2	13,35	87,4	12,9
Perzentile	25	7,4	7,9	12,95	52	5,9
	50	7,5	8,05	13,15	69,7	9,4
	75	7,6	8,2	13,35	87,4	12,9
	Qi 75-25	0,2	0,3	0,4	35,4	7

rF-Ah-Go:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	0	2
Mittelwert		5,95	6,25	6,04		16,45
Median		5,95	6,25	6,04		16,45
Standardabweichung		0,21	0,07	0,74		1,34
Varianz		0,05	0,01	0,55		1,81
Spannweite		0,3	0,1	1,05		1,9
Minimum		5,8	6,2	5,51		15,5
Maximum		6,1	6,3	6,56		17,4
Perzentile	25	5,8	6,2	5,51		15,5
	50	5,95	6,25	6,04		16,45
	75	6,1	6,3	6,56		17,4
	Qi 75-25	0,3	0,1	1,05	0	1,9

rF-Ah:fl-Fmi		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	0	2
Mittelwert		6	5,3	5,98		10,8
Median		6	5,3	5,98		10,8
Standardabweichung		0,14	0,14	0,57		1,56
Varianz		0,02	0,02	0,33		2,42
Spannweite		0,2	0,2	0,81		2,2
Minimum		5,9	5,2	5,57		9,7
Maximum		6,1	5,4	6,38		11,9
Perzentile	25	5,9	5,2	5,57		9,7
	50	6	5,3	5,98		10,8
	75	6,1	5,4	6,38		11,9
	Qi 75-25	0,2	0,2	0,81	0	2,2

rF-Go:fl-Fms		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	0	2
Mittelwert		6	6,5	1,53		3,15
Median		6	6,5	1,53		3,15
Standardabweichung		0,99	1,41	1,76		3,18
Varianz		0,98	2	3,1		10,13
Spannweite		1,4	2	2,49		4,5
Minimum		5,3	5,5	0,28		0,9
Maximum		6,7	7,5	2,77		5,4
Perzentile	25	5,3	5,5	0,28		0,9
	50	6	6,5	1,53		3,15
	75	6,7	7,5	2,77		5,4
	Qi 75-25	1,4	2	2,49	0	4,5

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

rF-Gr:fl-Fm		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	1	2
Mittelwert		6,15	6,45	11,69	81,5	17,05
Median		6,15	6,45	11,69	81,5	17,05
Standardabweichung		1,77	1,77	5,46		1,34
Varianz		3,13	3,13	29,8		1,81
Spannweite		2,5	2,5	7,72	0	1,9
Minimum		4,9	5,2	7,83	81,5	16,1
Maximum		7,4	7,7	15,55	81,5	18
Perzentile	25	4,9	5,2	7,83	81,5	16,1
	50	6,15	6,45	11,69	81,5	17,05
	75	7,4	7,7	15,55	81,5	18
	Qi 75-25	2,5	2,5	7,72	0	1,9

rF-rGo:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	1	2
Mittelwert		6	6,4	2,22	1,3	6,05
Median		6	6,4	2,22	1,3	6,05
Standardabweichung		0,42	0,71	0,36		2,19
Varianz		0,18	0,5	0,13		4,81
Spannweite		0,6	1	0,51	0	3,1
Minimum		5,7	5,9	1,96	1,3	4,5
Maximum		6,3	6,9	2,47	1,3	7,6
Perzentile	25	5,7	5,9	1,96	1,3	4,5
	50	6	6,4	2,22	1,3	6,05
	75	6,3	6,9	2,47	1,3	7,6
	Qi 75-25	0,6	1	0,51	0	3,1

rF-rGr:fl-Fmt		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	1	2
Mittelwert		5,85	6,45	3,58	1	8,2
Median		5,85	6,45	3,58	1	8,2
Standardabweichung		0,78	0,92	1,98		4,24
Varianz		0,61	0,85	3,92		18
Spannweite		1,1	1,3	2,8	0	6
Minimum		5,3	5,8	2,18	1	5,2
Maximum		6,4	7,1	4,98	1	11,2
Perzentile	25	5,3	5,8	2,18	1	5,2
	50	5,85	6,45	3,58	1	8,2
	75	6,4	7,1	4,98	1	11,2
	Qi 75-25	1,1	1,3	2,8	0	6

rF-rGr:fl-Fmu		pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	TC [%]	CaCO ₃ [%]	GV550 [%]
N	Gültig	2	2	2	1	2
Mittelwert		5,45	5,95	1,15	1,1	3,05
Median		5,45	5,95	1,15	1,1	3,05
Standardabweichung		1,48	1,77	1,12		2,76
Varianz		2,21	3,13	1,25		7,61
Spannweite		2,1	2,5	1,58	0	3,9
Minimum		4,4	4,7	0,36	1,1	1,1
Maximum		6,5	7,2	1,94	1,1	5
Perzentile	25	4,4	4,7	0,36	1,1	1,1
	50	5,45	5,95	1,15	1,1	3,05
	75	6,5	7,2	1,94	1,1	5
	Qi 75-25	2,1	2,5	1,58	0	3,9

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Gr:fl-Fmk		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Gr:og-Fhg		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	39	N	Gültig	10
Mittelwert		16,31	Mittelwert		56,94
Standardabweichung		8,22	Standardabweichung		11,29
Varianz		67,61	Varianz		127,49
Spannweite		41	Spannweite		35
Minimum		6	Minimum		45
Maximum		46	Maximum		80
Perzentile	25	10,67	Perzentile	25	49,36
	50	14,32		50	52,72
	75	20,91		75	64,84
	Qi 75-25	10,24		Qi 75-25	15,48

erFr-Go:fl-Fmk		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Gr:fl-Fmu		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	31	N	Gültig	5
Mittelwert		26,07	Mittelwert		21,54
Standardabweichung		14,97	Standardabweichung		31,84
Varianz		224,19	Varianz		1013,66
Spannweite		58	Spannweite		74
Minimum		4	Minimum		3
Maximum		61	Maximum		78
Perzentile	25	15,04	Perzentile	25	3,48
	50	21		50	5,54
	75	31,52		75	47,6
	Qi 75-25	16,48		Qi 75-25	44,12

erFr-Gr:fl-Fmk		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Ap:fl-Fmi		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	13	N	Gültig	5
Mittelwert		27,24	Mittelwert		33,28
Standardabweichung		22,58	Standardabweichung		6,78
Varianz		509,64	Varianz		45,9
Spannweite		85	Spannweite		17
Minimum		3	Minimum		23
Maximum		88	Maximum		40
Perzentile	25	7,45	Perzentile	25	27,2
	50	30,95		50	33
	75	33,5		75	39,5
	Qi 75-25	26,05		Qi 75-25	12,3

rFr-Go:og-Fhg		KAKpot [cmol/kg]	erFr-Gro:fl-Fmk		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	11	N	Gültig	4
Mittelwert		64,67	Mittelwert		14,1
Standardabweichung		18,58	Standardabweichung		3,79
Varianz		345,06	Varianz		14,39
Spannweite		61	Spannweite		9
Minimum		36	Minimum		10
Maximum		96	Maximum		19
Perzentile	25	50,9	Perzentile	25	10,68
	50	65,56		50	13,8
	75	83,28		75	17,83
	Qi 75-25	32,38		Qi 75-25	7,15

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

rFr-Ap:Fms		KAKpot [cmol/kg]	erFr-rAp:fl-Fmk		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	3	N	Gültig	2
Mittelwert		22,88	Mittelwert		26,9
Standardabweichung		8,1	Standardabweichung		13,29
Varianz		65,62	Varianz		176,72
Spannweite		14	Spannweite		19
Minimum		14	Minimum		18
Maximum		28	Maximum		36
Perzentile	25	13,54	Perzentile	25	17,5
	50	27,17		50	26,9
	75	27,94		75	36,3
	Qi 75-25	14,4		Qi 75-25	18,8

rFr-Go:fl-Fmu		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Ap-Go:fl-Fmu		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	3	N	Gültig	2
Mittelwert		40,8	Mittelwert		50,05
Standardabweichung		32,77	Standardabweichung		2,19
Varianz		1074,01	Varianz		4,81
Spannweite		65	Spannweite		3
Minimum		5	Minimum		49
Maximum		70	Maximum		52
Perzentile	25	5,3	Perzentile	25	48,5
	50	47,2		50	50,05
	75	69,9		75	51,6
	Qi 75-25	64,6		Qi 75-25	3,1

rFr-Gr:fl-Fh		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Ap:fl-Fmu		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	3	N	Gültig	2
Mittelwert		52,7	Mittelwert		25,45
Standardabweichung		30,41	Standardabweichung		8,42
Varianz		924,69	Varianz		70,81
Spannweite		57	Spannweite		12
Minimum		18	Minimum		20
Maximum		75	Maximum		31
Perzentile	25	18	Perzentile	25	19,5
	50	65,4		50	25,45
	75	74,7		75	31,4
	Qi 75-25	56,7		Qi 75-25	11,9

rFr-Gr:fl-Fmi		KAKpot [cmol/kg]	rFr-Go:fl-Fh		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	3	N	Gültig	2
Mittelwert		33,82	Mittelwert		21,2
Standardabweichung		8,11	Standardabweichung		24,47
Varianz		65,8	Varianz		598,58
Spannweite		16	Spannweite		35
Minimum		27	Minimum		4
Maximum		43	Maximum		39
Perzentile	25	27,1	Perzentile	25	3,9
	50	31,53		50	21,2
	75	42,83		75	38,5
	Qi 75-25	15,73		Qi 75-25	34,6

Anhang 12d: Statistische Kennwerte für Substrat-Horizont-Gruppen

erF-Go:fl-eFm		KAKpot [cmol/kg]	erFr-Go:fl-eFmu		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	2	N	Gültig	2
Mittelwert		2,65	Mittelwert		4,4
Standardabweichung		1,06	Standardabweichung		2,83
Varianz		1,13	Varianz		8
Spannweite		2	Spannweite		4
Minimum		2	Minimum		2
Maximum		3	Maximum		6
Perzentile	25	1,9	Perzentile	25	2,4
	50	2,65		50	4,4
	75	3,4		75	6,4
	Qi 75-25	1,5		Qi 75-25	4

erF-Gr:fl-eFmu		KAKpot [cmol/kg]	erFr-Gr:fl-eFmu		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	2	N	Gültig	2
Mittelwert		28,15	Mittelwert		17,5
Standardabweichung		37,55	Standardabweichung		19,8
Varianz		1409,81	Varianz		392
Spannweite		53	Spannweite		28
Minimum		2	Minimum		4
Maximum		55	Maximum		32
Perzentile	25	1,6	Perzentile	25	3,5
	50	28,15		50	17,5
	75	54,7		75	31,5
	Qi 75-25	53,1		Qi 75-25	28

rFr-rAp:fl-Fmu		KAKpot [cmol/kg]	rFr-rGr:fl-Fmt		KAKpot [cmol/kg]
N	Gültig	2	N	Gültig	2
Mittelwert		38,5	Mittelwert		25,6
Standardabweichung		0,28	Standardabweichung		6,93
Varianz		0,08	Varianz		48,02
Spannweite		0	Spannweite		10
Minimum		38	Minimum		21
Maximum		39	Maximum		31
Perzentile	25	38,3	Perzentile	25	20,7
	50	38,5		50	25,6
	75	38,7		75	30,5
	Qi 75-25	0,4		Qi 75-25	9,8

Anhnag 13: Hintergrundwerte

	ICP [mg/kg]																																			
	pH (CaCl2)	GV	CaCO3 TC	TN	TS	CN	HG	SI	TI	AL	FE	MN	MG	CA	NA	K	P	S	AS	B	BA	BE	CD	CO	CR	CU	LI	MO	NI	PB	Sn	SR	V	ZN	LOI	
Fhg (n=25)																																				
Mittel	6,69	51,44	7,38	26,08	2,15	0,65	12,28	73,92	615,92	266,71	9942,51	14972,93	404,89	2708,05	42794,03	301,33	2178,92	994,04	5872,7	12,48	44,99	100,38	0,53	0,49	5,83	18,12	16,27	14,35	2,74	14,64	26,63	2,24	104,19	27,53	85,18	55,8
Median	6,8	50,3	2,4	25,8	2,18	0,5	11,99	56	542	262,89	10698,33	13307,2	245,14	2634,32	25161	284,94	2113	732	4376,3	10,6	39,04	84,96	0,57	0,36	6	18,3	15,61	14,74	1,97	15,96	20,13	1,97	70,08	28,67	66	56
Std	0,49	13,1	11,06	6,41	0,57	0,44	1,79	50,22	279,93	139,09	4969,14	8117,82	338,56	1082,43	48954,59	106,88	1108,31	544,86	4156,15	12,56	24,09	69,76	0,25	0,42	2,35	10,49	6,4	5,35	2,35	4,2	20,08	1,08	87,68	13,09	129,57	13,21
Minimum	5,7	29,1	0,5	14,12	1,23	0,24	10,75	20	353,98	9	262	4556	165,1	655	9931,67	151,2	154	503,6	1751,38	1,18	28	27,32	0,02	0,1	1,5	0,9	6	4,94	0,5	3	2,74	1,05	38,73	1	4	30,53
Maximum	7,4	75,1	40,9	36,5	3,39	1,93	19,6	174	1827	466,53	17751,13	46149	1504,7	5446	239274	653	3748,04	2456	18280	50	147	344	0,92	1,83	10,07	45,15	38	25,67	10	21,23	73	4,1	344,85	51,35	688,85	78,23
Q25	6,3	42,1	0,5	21,02	1,72	0,31	11,24	32	467,09	186	5862	10917,31	201,4	2049	14905,74	243,5	1318	592,96	3148,5	5	34,61	67,13	0,34	0,24	4,18	9,8	12,12	11,4	1,19	12,74	11,3	1,59	46,66	20	34,42	44,47
Q75	7,1	63,2	7,05	31,42	2,49	0,96	12,8	103	688,08	392,29	13124,52	15150	503,72	3298,34	46104,65	332,86	3130,74	1266,42	6426	15,28	43,61	108,39	0,68	0,59	7,62	21,96	18,64	17,69	3,69	17,78	38,28	2,7	110,94	36,3	91,69	66,86
Q75-25	0,8	21,1	6,55	10,4	0,77	0,65	1,56	71	220,99	206,29	7262,52	4232,69	302,32	1249,34	31198,9	89,36	1812,74	673,46	3277,5	10,28	9	41,27	0,34	0,35	3,43	12,16	6,52	6,29	2,5	5,03	26,98	1,1	64,28	16,3	57,27	22,39
Fmi (n=14)																																				
Mittel	4,94	19,29		9,46	0,69	0,24	13,91	150	423,57	158,48	8453,5	30215,21	295,71	745,06	3689,79	195,92	1282,85	1333,74	1881,21	23,03	35,78	164,77	0,34	0,4	2,06	17,99	12,89	3,86	1,61	11,36	25,48	2,33	20,28	23,75	30,18	23,13
Median	4,9	17,9		8,18	0,63	0,2	13,35	148	414,4	169,4	9692	27770	238,7	753	3695	175,7	1272,5	1242,9	1483,5	20,46	26,01	165	0,38	0,1	2,14	16,23	10,99	3,44	0,5	11,32	21,5	1,77	20,3	14,03	19,72	21,23
Std	0,56	11,36		5,55	0,5	0,14	3,25	56,56	65,44	42,75	2536,01	14948,97	234,19	235,61	721,37	63,49	408,83	991,6	1222,24	15,62	36,23	43,21	0,11	0,52	0,71	6,91	7,2	1,42	1,57	1,82	14,58	1	2,99	17,32	21,06	10,73
Minimum	3,8	2		1,06	0,14	0,05	7,6	38	342,2	58,94	2634	12637	37,5	302,3	2100	131	641,5	237	332	9,74	17,51	102,8	0,1	0,1	0,78	8,24	6	2,23	0,5	8	5,97	1,19	14,03	6,31	11	6,6
Maximum	5,8	51,1		25,25	2,29	0,64	22,4	242	535	213	11675	57800	678	1057	4767	342,5	2201	2612	5534	73,04	144,5	264,2	0,43	1,7	3	27,5	28	6,07	4	14,44	46	3,77	25,22	53,29	62,51	53,59
Q25	4,8	12,5		6,5	0,46	0,16	12,78	131,25	373,43	148,28	7308,25	18059,5	94,15	605,85	3274,25	161,9	1071,75	395,85	1308,5	14,14	23,44	140,6	0,31	0,1	1,64	13,38	7,25	2,95	0,5	10,26	12,95	1,63	19,12	11,23	11,78	17,08
Q75	5,3	21,2		9,82	0,68	0,24	15,13	184,25	482	182	10072,25	37332,5	523,25	937,45	4271,75	200,03	1537,5	2076	1890,05	23,82	28,77	179,8	0,41	0,39	2,51	24,29	15,96	5,32	3	12	40,79	2,92	22,39	40,73	54	24,71
Q75-25	0,5	8,7		3,32	0,23	0,08	2,35	53	108,58	33,73	2764	19273	429,1	331,6	997,5	38,13	465,75	1680,15	581,55	9,68	5,34	39,2	0,1	0,29	0,88	10,91	8,71	2,37	2,5	1,74	27,85	1,29	3,28	29,5	42,23	7,63
Fmk (n=96)																																				
Mittel	7,55	12,29	69,46	14	0,55	0,28	38,01	33,73	417,51	67,92	2005,44	7104,71	593,57	2977,47	277027,08	297,93	571,63	418,93	4426,62	9,76	25,93	134,05	0,12	0,29	1,46	3,63	3,9	7,55	1,22	3,04	12,65	0,83	395,05	5,45	11,89	42,98
Median	7,6	11,05	76,8	14,31	0,47	0,24	27,95	18	378,86	21,47	695,77	5020,08	559,88	2614,1	304975,35	243,64	233,29	305,58	3998,02	5	20,35	131,95	0,05	0,25	1	1,44	2,54	5,7	0,5	1,78	6,29	0,92	375,87	2,09	5,32	45,35
Std	0,3	6,82	21,9	3,7	0,36	0,21	26,31	37,23	183,75	124,15	3701,02	6311,82	275,02	1438,3	86106,38	297,87	999,45	379,53	2565,7	9,12	16,87	36,93	0,23	0,2	1,52	5,36	4,32	5,83	1,22	3,85	14,11	0,41	170,05	7,69	14,25	10,23
Minimum	5,1	0,7	11	0,29	0,02	0,03	11,5	3	90,49	0,5	4	389,8	35,08	350,99	1216,43	85,04	33	43,3	128,31	0,55	10,44	20,69	0,01	0,1	0,1	0,25	0,5	2	-1,32	0,25	-0,89	0,03	5,82	0,35	0	0,88
Maximum	7,8	27,6	98,1	20,52	1,41	1,73	137,2	177	1229	618,4	19590	34619	2022,13	8793	386164	2948,58	6027	2243	17930	45	104,5	265,6	1,83	1,05	6,98	27,44	22,31	30,86	6	19,36	62,75	1,8	960,2	40,2	64,87	56,97
Q25	7,5	6,95	60,4	12,94	0,23	0,16	20,19	9	311,97	7,96	283,15	2500,7	398,07	2026,99	248163,17	197,06	141,64	154,24	3007,01	5	17,77	115,48	0,02	0,25	1	0,92	1,06	4,3	0,5	1,09	2,5	0,77	298,34	1,1	3	42,93
Q75	7,7	16,9	83,9	16,27	0,82	0,31	52,83	45,75	469,98	56,2	1641	8768,58	718,53	3620,92	334813	319,18	546,85	510,78	5404,95	15	28,75	155,6	0,12	0,25	1	3,45	5,56	10,56	1,69	3,09	20	1,03	471,95	5,43	12,87	48,32
Q75-25	0,2	9,95	23,5	3,33	0,59	0,15	32,64	36,75	158,02	48,24	1357,85	6267,88	320,46	1593,93	86649,83	122,12	405,21	356,54	2397,94	10	10,98	40,12	0,1	0	0	2,53	4,5	6,26	1,19	2	17,5	0,26	173,62	4,33	9,87	5,4

Anhnag 13: Hintergrundwerte

RFA [Oxide in %, alle anderen in mg/kg]																																														
SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MNO	MGO	CAO	NA2O	K2O	P2O5	SO3	F	CL	AS	BA	BI	CE	CO	CR	CS	CU	GA	HF	LA	MO	NB	ND	NI	PB	PR	RB	SB	SC	SM	SN	SR	TA	TH	U	V	W	Y	ZN	ZR			
27,3	0,27	4,39	2,47	0,06	0,56	6,74	0,31	0,96	0,25	0,69	0,04	0	9,68	232,52	3	36,56	5	24,32	7	14,22	5,8	3,64	19,44	1,94	6,04	20	14,32	27	15	46,6	22,95	5	14,1	12,75	134,36	3,24	11,6	2,68	33,82	2,4	4,8	90,48	119,28			
29,03	0,28	4,62	2,31	0,04	0,51	4,14	0,31	0,96	0,19	0,24	0,02	0	7	231	2,5	37	5	24	0,56	14	6	4	12	1,5	6	14	15	21	15	47	20	2,5	11	12	102	2,5	11	2	35	2	3	70	119			
14,43	0,13	2,19	1,27	0,05	0,24	7,32	0,17	0,52	0,13	0,79	0,04	0	7,52	84,4	1,02	17,48	2,61	15,28	8,98	9,38	2,69	1,68	9,43	0,88	2,61	9,76	4,76	16,36	0	23,7	9,08	3,62	6,51	3,35	80,38	1,23	4,08	1,18	16,47	0,82	3,79	136,06	65,18			
1,57	0,01	0,2	0,74	0,02	0,13	1,77	0,01	0,02	0,13	0,03	0,02	0	3	70	2,5	10	2	1,5	0,56	0,5	1	2	12	1,5	2	14	3	5	15	7	20	2,5	11	12	63	2,5	4	2	4,5	2	1	3	3			
56,57	0,44	7,25	7,45	0,22	1,21	34,13	0,58	1,64	0,59	2,33	0,16	0	39	476	5	73	12	57	26	36	10	7	40	5	10	42	22	66	15	81	50	14	30	27	361	6	19	6	59	4	11	727	238			
18,86	0,21	3,15	1,85	0,03	0,41	2,19	0,24	0,73	0,16	0,09	0,02	0	6	180	2,5	20	2	15	0,56	11	4	2	12	1,5	4	14	12	15	15	29	20	2,5	11	12	83	2,5	9	2	21	2	2	42	102			
38,8	0,39	6,41	2,55	0,07	0,7	7,26	0,42	1,48	0,32	1,16	0,06	0	11	284	2,5	51	6	34	16	17	8	5	24	1,5	9	29,25	18	37	15	66	20	6	11	12	141	5	14	4	45	2	7	94	162			
19,94	0,17	3,26	0,69	0,04	0,28	5,07	0,18	0,75	0,16	1,07	0,05	0	5	104	0	31	4	19	15,44	6	4	3	12	0	5	15,25	6	22	0	37	0	3,5	0	0	58	2,5	5	2	24	0	5	52	60			
68,11	0,13	2,53	4,29	0,04	0,13	0,59	0,16	0,38	0,32	0	0,05	0	20,14	234,86	3,39	16,79	3,29	22	12,77	9,46	3,29	3,07	16,29	2,04	2,93	17,11	10,93	25,21	18,56	20,21	20	3,64	14,33	14,67	32,43	3,39	12,14	2,71	26,96	2,71	1,36	28,07	95,86			
68,32	0,15	2,76	4,19	0,03	0,13	0,61	0,17	0,41	0,3	0	0,05	0	16	239,5	2,5	15	3	23,5	16	10	3,5	3	12	1,5	2	14	11	25,5	15	20,5	20	2,5	11	12	33	2,5	12	2	22	2	1	15,5	86,5			
10,78	0,05	0,76	2	0,03	0,05	0,11	0,07	0,12	0,24	0	0,03	0	16,51	56,22	1,24	7,39	1,38	10,08	10,33	8,02	1,73	1,14	5,97	0,75	1,44	9,33	1,98	14,07	10,67	4,26	0	1,39	6,63	8	5,4	1,24	3,08	0,99	18,77	0,99	0,5	21,23	38,57			
36,37	0,05	0,85	1,78	0,01	0,05	0,32	0,05	0,18	0,06	0	0,02	0	6	115	2,5	10	2	3	0,56	0,5	1	2	12	1,5	2	14	8	5	15	13	20	2,5	11	12	20	2,5	7	2	4,5	2	1	7	34			
84,24	0,19	3,66	7,74	0,09	0,22	0,74	0,27	0,55	0,64	0,01	0,1	0	74	291	5	29	5	37	30	24	6	5	24	3	6	42	16	50	47	30	20	6	27	36	42	5	18	4	57	4	2	59	156			
66,61	0,11	2,23	2,73	0,01	0,1	0,55	0,12	0,3	0,1	0	0,02	0	12	226,75	2,5	10	2	15,5	0,56	0,5	2	2	12	1,5	2	14	10	14,25	15	17,25	20	2,5	11	12	32	2,5	11	2	10,25	2	1	11,25	74,75			
72,07	0,16	3,01	5,14	0,07	0,17	0,65	0,2	0,48	0,51	0	0,07	0	21,54	276,5	5	22,75	4,75	29,75	16	14,5	4	4	24	3	3,75	14	11	36,75	15	22	20	5	14,33	12	35	5	13,75	4	45,75	4	2	51,75	129,25			
5,46	0,06	0,79	2,41	0,06	0,07	0,11	0,08	0,18	0,41	0	0,05	0	9,54	49,75	2,5	12,75	2,75	14,25	15,44	14	2	2	12	1,5	1,75	0	1	22,5	0	4,75	0	2,5	3,33	0	3	2,5	2,75	2	35,5	2	1	40,5	54,5			
13,5	0,05	0,95	1,14	0,09	0,59	39,5	0,09	0,2	0,1	0,6	0,09	0	5,54	174,21	2,94	17,6	2,55	4,66	6,34	16,34	1,79	2,89	14,65	2,71	2,66	16,57	3,23	10,14	16,08	13,31	21,96	3,52	11,16	12,95	471,95	3,35	5,3	2,35	9,95	2,39	1,53	13,73	37,63			
5,08	0,02	0,36	0,82	0,08	0,5	44,09	0,01	0,03	0,08	0,49	0,09	0	4	156,5	2,5	10	2	1,5	0,56	16	1	2	12	1,5	2	14	1,5	5	15	8,5	20	2,5	11	12	430,5	2,5	3	2	4,5	2	1	6	16,5			
19,05	0,09	1,6	0,97	0,04	0,31	12,36	0,17	0,41	0,09	0,39	0,06	0	4,71	61,58	0,96	10,42	1,02	8,1	9,31	7,2	1,99	1,68	5,67	2,68	3,15	8,06	3,77	11,54	4,73	13,76	9,34	1,96	1,46	4,28	217,01	1,46	4,64	0,77	10,05	0,81	1,82	19,23	67,05			
0,1	0	0,01	0,05	0,01	0,01	0,28	0	0	0,01	0,01	0,02	0	1	83	2,5	10	2	1,5	0,56	0,5	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	3	20	2,5	11	12	37	2,5	2	2	4,5	2	1	1	1			
94,45	0,5	8	5,41	0,29	1,74	52,2	0,85	1,96	0,55	2,09	0,23	0,02	25	396	5	50	6	45	34	37	11	13	41	15	31	49	21	53	39	75	86	13	24	37	1279	9	21	4	57	5	15	130	461			
2,19	0,01	0,14	0,44	0,06	0,38	35,4	0	0,01	0,04	0,35	0,04	0	3	130,75	2,5	10	2	1,5	0,56	12	1	2	12	1,5	2	14	1,5	2,5	15	6	20	2,5	11	12	364	2,5	2	2	4,5	2	1	2	5,75			
16,97	0,04	0,81	1,51	0,11	0,7	48,2	0,08	0,16	0,14	0,71	0,14	0	7	207,75	2,5	21,25	2	3	16	21	2	4	12	3	2	14	3	13	15	13,25	20	5	11	12	519,25	5	8	2	11,25	2	1	16,25	33,25			
14,77	0,04	0,67	1,07	0,05	0,32	12,8	0,07	0,15	0,1	0,35	0,09	0	4	77	0	11,25	0	1,5	15,44	9	1	2	0	1,5	0	0	1,5	10,5	0	7,25	0	2,5	0	0	155,25	2,5	6	0	6,75	0	0	14,25	27,5			